

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA

CAMPO TECNOLÓGICO

5 La presente descripción se encuentra en el campo de los sistemas de almacenamiento de base térmica, para permitir la recuperación de energía eléctrica y el uso controlable de esta energía.

ANTECEDENTES

10 La técnica previa para motores térmicos incluye el ciclo termodinámico de Carnot Stirling y Ericsson, todos alcanzando el límite de eficiencia de Carnot a través de procesos isotérmicos al convertir el calor en trabajo (electricidad). Convencionalmente, los ciclos térmicos incluyen un compresor y una turbina basados en procesos adiabáticos, por ejemplo, en Rankine y Brayton. En el proceso inverso, los motores térmicos convierten el trabajo en calor que se puede almacenar. La batería de Carnot es un ciclo donde el trabajo, tal como la electricidad, se convierte en almacenamiento térmico, que se recicla de nuevo en electricidad. Por lo que sabemos toda la comprensión de la batería de Carnot tienen una eficiencia limitada. A continuación se muestra un ejemplo del ciclo de carga y de carga de Brayton (ver también la **Figura 1**): El

sistema incluye depósitos de calor de alta temperatura (H-HEX) y temperatura fría (C-HEX) con un intercambiador de calor, un compresor, y una turbina. Todo el sistema está aislado térmicamente. En el proceso de carga, la energía eléctrica opera el compresor que comprime el gas y eleva la temperatura a alta temperatura. El calor se almacena en el H-HEX. El aire comprimido se enfría en el intercambiador de calor y llega a la turbina para descargar la presión. La potencia de la turbina regresa al compresor. El gas de salida es frío y pasa por el C-HEX para reducir la temperatura del depósito frío. El gas continúa hacia el compresor durante un ciclo adicional. El resultado del proceso de carga es un cambio de temperatura entre los dos depósitos térmicos. En el proceso de descarga, el aire a baja temperatura del depósito frío se comprime y calienta y pasa por el depósito caliente donde se eleva su temperatura (mientras se enfría el almacenamiento). El gas comprimido caliente llega a la turbina, produciendo potencia que a la vez acciona el compresor y genera la potencia de salida. El gas frío después de que la turbina llega al depósito frío y regresa al compresor por otro ciclo hasta que la diferencia de temperatura entre los dos depósitos da como resultado una producción de potencia negativa. Los retos en el concepto son: la densidad de energía térmica es baja lo que lleva a un enorme tamaño y costo del dispositivo. Los intercambiadores de calor son costosos. La expansión y

compresión son adiabáticas lo cual es ineficiente debido a un exceso de temperatura con respecto a la temperatura del depósito. También, el calor residual adicional de bajo grado es menos eficiente para aumentar la eficiencia de ciclo completo debido a las altas temperaturas de operación.

ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

Las referencias que se consideran relevantes como antecedentes para la materia descrita actualmente se enumeran a continuación:

- WO 2022/049573
- WO 2022/234554

El reconocimiento de las referencias anteriores en la presente no debe inferirse como que son de alguna manera relevantes para la patentabilidad de la materia descrita actualmente.

DESCRIPCIÓN GENERAL

La presente descripción proporciona un sistema para permitir una bomba de calor eficiente, el almacenamiento de energía térmica, y la recuperación de esta energía térmica almacenada de vuelta a la electricidad bajo demanda. Por lo tanto, el sistema opera

en dos modos operativos: (1) un modo operativo de carga, en el que la energía térmica se bombea en un compresor accionado eléctricamente y se transfiere a un depósito de líquido de transferencia de calor caliente (que puede denominarse en la presente, en resumen también como “depósito caliente”) mediante un líquido de transferencia de calor (HTL, por sus siglas en inglés); y (2) un modo operativo de descarga, en el que la energía térmica del depósito caliente se utiliza en una turbina para producir energía cinética que se puede usar directamente o se puede convertir en una energía eléctrica para ser usada cuando se desee. Además de su uso como un portador de la energía térmica, el HTL también es un participante activo en el proceso de compresión dentro del compresor en el modo de carga del sistema, y en el proceso de expansión que ocurre dentro de la turbina en el modo de descarga del sistema. El depósito caliente tiene una temperatura que está por encima de la temperatura ambiente, típicamente de manera considerable mayor que la temperatura ambiente, p. ej., en 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C o incluso más por encima de la temperatura ambiente. El grado de calentamiento del depósito caliente durante la carga de energía y el grado de enfriamiento del depósito caliente durante la descarga de energía

depende, entre otros, de la capacidad calorífica del depósito caliente.

En algunos aspectos y modalidades de esta descripción también se usa un depósito de HTL frío (al que se puede hacer referencia en la presente, en resumen también como “depósito frío”) y el calor se bombea desde el depósito frío al depósito caliente o se libera del depósito caliente al depósito frío en el respectivo almacenamiento de calor y utilización de calor. El depósito frío tiene una temperatura que está por debajo de la temperatura ambiente, típicamente de manera considerable menor que la temperatura ambiente, p. ej., en 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C o incluso más por debajo de la temperatura ambiente. El grado de enfriado del depósito frío durante el almacenamiento de energía y el grado de calentamiento del depósito frío durante la descarga de energía depende, entre otros, de la capacidad calorífica del depósito caliente.

El depósito caliente y el depósito frío pueden, según algunas modalidades de esta descripción, estar térmicamente aislados. Tanto el proceso de compresión como el proceso de expansión implican mezclar un fluido de trabajo (WF, por sus siglas en inglés) que fluye en el sistema con el HTL para formar una mezcla bifásica de WF y HTL (que en la presente se puede denominar “mezcla de

HTL/WF"). En el compresor el WF entra a la mezcla en su gaseoso (los términos "gas", "gaseoso" etc. se usan en la presente abarcan gas y vapor) y se comprime, mientras que en la turbina para provocar que el WF entre en la mezcla como un gas comprimido o en su fase líquida, opcionalmente para ser comprimido adicionalmente dentro de la mezcla. En la mezcla de HTL/WF, el HTL es típicamente el constituyente más abundante. Tras la formación de la mezcla de HTL/WF o muy ligeramente después, las temperaturas del HTL y el WF son aproximadamente iguales ya que el HTL enfría o calienta el WF, durante la respectiva compresión o expansión del WF. Cabe señalar que la capacidad calorífica del HTL es mucho mayor que la del WF gaseoso (el HTL puede tener una mayor capacidad calorífica de aproximadamente 3 órdenes de magnitud que la del WF gaseoso). En consecuencia, el WF asume la temperatura del HTL y su expansión en la turbina o su compresión en el compresor se produce esencialmente sin un cambio de temperatura. Esto se conoce en la presente como "expansión cuasi-isotérmica" y "compresión cuasi-isotérmica", respectivamente (el término "cuasi" denota el hecho de que si se mide la temperatura con mucha precisión durante el proceso, se podría registrar solamente pequeños cambios de temperatura, debido a la enorme capacidad calorífica del HTL. La temperatura al final de la expansión o compresión del WF durante el proceso cuasi-isotérmico es menor que 20 %, 10 %, 5 %, 4 %, 3 %, 2 %, o incluso menor

que 1 % en grados Kelvin a partir de la temperatura inicial del WF.

Por lo tanto, durante el proceso de compresión, el HTL enfría constantemente el WF en la mezcla de HTL/WF, ya que el calor se transfiere del WF al HTL, produciendo de esta manera dicha compresión cuasi-isotérmica del WF en la mezcla de HTL/WF. Al final del proceso de compresión, el WF puede estar en una fase gaseosa o líquida. Al final del proceso de compresión, el HTL y el WF se separan en una zona de separación, por ejemplo, mediante separación gravitacional, separación centrífuga o por cualquier otra técnica de separación conocida o adecuada. El compresor usado en la presente es, por lo tanto, un compresor bifásico, a saber, un compresor que opera sobre una mezcla de un material en una fase líquida, a saber, el HTL, y otro en una fase gaseosa, a saber, el WF.

Similarmente, durante el proceso de expansión en la turbina, el HTL calienta constantemente el WF en la mezcla de HTL/WF, produciendo de esta manera dicha expansión cuasi-isotérmica del WF en la mezcla de HTL/WF. Al final del proceso de expansión, el HTL y el WF se separan en una zona de separación, por ejemplo, en una de las maneras de separación descritas anteriormente. Por lo tanto, por la misma señal de la definición del compresor y

como un compresor bifásico, la turbina de esta descripción es una turbina bifásica.

El HTL y el WF pueden, según algunas modalidades, como también se describe más adelante, ser la misma sustancia en fase diferente, particularmente en el compresor. Por una modalidad, el compresor tiene su propio HTL que se hace referencia en toda la aplicación como *HTL del compresor* que fluye en un bucle cerrado en el compresor y el WF que se mezcla con el HTL del compresor puede ser del mismo material pero en una fase diferente. Durante el proceso de compresión en el compresor, la presión del HTL del compresor cae por un periodo muy corto, de esta manera no se permite que el HTL del compresor cambie su fase a gas mientras permite que la succión del WF en fase gaseosa se mezcle con el HTL del compresor. Por lo tanto, el WF y el HTL del compresor pueden ser del mismo material pero en diferentes fases durante el proceso de compresión en el compresor. Cuando el compresor tiene su propio HTL del compresor diferente al HTL caliente, el HTL del compresor se calienta durante el proceso de compresión y después transfiere su calor al depósito de HTL caliente mediante cualquier acoplamiento térmico adecuado.

En algunas otras modalidades, el compresor es alimentado por HTL desde el depósito de HTL caliente. Por lo tanto, en estas modalidades, el HTL caliente se cicla entre el depósito de HTL caliente y el compresor,

calentándose con cada ciclo y por lo tanto calentando el depósito de HTL caliente.

En algunas modalidades de los sistemas de esta descripción, las trayectorias de flujo de cada uno del HTL y el WF pueden ser las mismas en los dos modos operativos. En algunas otras modalidades de los sistemas de esta descripción, las trayectorias de flujo de cada uno del HTL y el WF pueden ser las mismas, aunque en una dirección de flujo inversa. En aun otras modalidades de los sistemas de esta descripción, existen diferentes trayectorias de flujo para el HTL y el WF en los dos modos operativos de los sistemas de esta descripción: (1) en el modo de carga, donde el HTL se cicla entre el depósito caliente y el compresor y el WF se cicla entre el compresor y un evaporador; (2) en el modo de descarga, donde el HTL se cicla entre el depósito caliente y la turbina y el WF se cicla entre la turbina y un condensador. En algunas modalidades, las mismas trayectorias de flujo se usan en los dos modos operativos, aunque en una dirección de flujo inversa.

Tres aspectos del sistema, descritos a continuación, se proporcionan mediante esta descripción referidos como “primer aspecto del sistema”, “segundo aspecto del sistema” y “tercer aspecto del sistema”. Mientras que el sistema del segundo aspecto del sistema y el tercer aspecto del sistema comprende también un

depósito frío, el sistema del primer aspecto del sistema no comprende tal depósito. En el sistema del primer aspecto del sistema, el calor puede ser intercambiado, a través del intermedio del WF, con el ambiente o un medio externo (p. ej., cuerpo de agua), en el modo operativo de carga el calor es absorbido del ambiente o del medio externo y viceversa en el modo operativo de descarga. En un sistema del segundo y tercer aspectos del sistema, el calor se bombea, a través del intermedio del WF, entre el almacenamiento en frío y el almacenamiento en caliente en el modo operativo de carga y viceversa en el modo operativo de descarga.

El segundo y el tercer aspectos del sistema difieren en que en el tercer aspecto del sistema el WF es un cambio de fase líquido/vapor (LVPhC).

El primer aspecto del sistema proporciona un sistema para almacenar y recuperar energía eléctrica. Se compone de una turbina bifásica y un compresor bifásico. El compresor se configura para comprimir el HTL del compresor. El HTL del compresor puede ser igual o diferente que el HTL caliente. El sistema también puede comprender un depósito de HTL del compresor que puede configurarse como un elemento dentro del compresor que almacena el HTL del compresor antes y/o después del proceso de compresión en el compresor o puede ser un elemento independiente acoplado fluidicamente al

compresor, por ejemplo, configurado para complementar el HTL del compresor desperdiciado durante la operación del compresor.

El sistema del primer aspecto del sistema, también comprende un depósito de HTL caliente que contiene HTL caliente. El HTL puede ser cualquier material (que puede ser una mezcla por sí misma) que permanece en fase líquida en todo el rango de temperaturas de trabajo y presiones del sistema. Como se señaló anteriormente, el HTL puede, según algunas modalidades, ser el mismo material que el WF, sin embargo permanece en la fase líquida debido a la corta duración de la caída de presión en el compresor. El depósito de HTL caliente se configura para recibir o descargar el HTL caliente en los modos de operación de carga y descarga respectivos y puede comprender sustancias distintas al HTL que pueden recibir y almacenar energía térmica transferida desde el HTL, por ejemplo, piedras o grava. El depósito de HTL caliente puede ser selectivamente conectable de manera fluida a una turbina cuasi-isotérmica, bifásica o cuasi-isotérmica o en algunas modalidades solo acoplada térmicamente al compresor bifásico, compresor bifásico térmicamente aislado, en modos operativos de carga o descarga respectivos, para alimentar HTL caliente a la turbina o compresor respectivo o para permitir el intercambio de calor entre el HTL del compresor y el depósito de HTL

caliente. En otras palabras, el sistema se configura para conectar el depósito de HTL caliente al compresor en un modo de carga y a la turbina en un modo de descarga.

El compresor y la turbina están, típicamente,
5 aislados térmicamente.

En esta descripción, la referencia a un elemento debe entenderse en el sentido de que existen al menos uno de tales elementos. En otras palabras, el término “un”, “uno” o “el/la” al referirse a un elemento del sistema debe
10 entenderse en el sentido de que significa al menos uno de tales elementos. Por ejemplo, el sistema puede comprender una o más turbinas que operan en paralelo o uno o más compresores que operan en paralelo. Similarmente, como otro ejemplo, un sistema de esta descripción puede
15 comprender una unidad de intercambiador de calor o una pluralidad de tales unidades. Lo mismo ocurre, por ejemplo, con el condensador, evaporador, depósito, y todos los demás elementos señalados. Para simplificar la descripción, se hace referencia a uno de tales elementos,
20 p. ej., una turbina, un compresor, un intercambiador de calor, un condensador, un evaporador, un depósito, etc., entendiendo que debe leerse que significa al menos una turbina, al menos un compresor, al menos un intercambiador de calor, al menos un condensador, al menos un evaporador,
25 al menos un depósito, etc. Cuando un sistema de esta descripción comprende más de uno de un elemento definido,

la pluralidad de tales elementos puede trabajar en serie o en paralelo, según sea el caso.

El sistema del primer aspecto del sistema comprende además un condensador en comunicación fluida con la turbina para recibir y condensar WF procedente de la turbina; a saber, en el modo de descarga del sistema, el condensador está corriente abajo de la turbina en la trayectoria de flujo del WF.

El sistema del primer aspecto del sistema comprende opcionalmente además una bomba de fluido de trabajo (bomba de WF) en comunicación fluida con el condensador para presurizar el WF condensado, que se condensa en el condensador. Cabe señalar que la bomba WF puede disponerse en diversas posiciones de la trayectoria de flujo de WF, por ejemplo, puede disponerse y hacerse parte integral del condensador, puede disponerse en la trayectoria de flujo entre el condensador y el primer intercambiador de calor o entre el primer intercambiador de calor y la turbina.

El sistema del primer aspecto del sistema puede, según algunas modalidades, comprender además un evaporador en comunicación fluida con el compresor para recibir y evaporar el WF procedente del compresor. El evaporador, puede ser el mismo elemento o diferente al condensador. A saber, en el modo operativo de carga del sistema, el evaporador está corriente abajo del compresor en la

trayectoria de flujo de WF. En algunas modalidades, el condensador y el evaporador son el mismo elemento. El condensador/evaporador puede configurarse para permitir el intercambio térmico de calor entre el WF que fluye a través de ellos y su entorno.

El modo de descarga del sistema define una primera trayectoria de flujo del WF y el modo de carga define una segunda trayectoria de flujo del WF. En algunas modalidades, los elementos que constituyen la primera trayectoria de flujo del WF cumplen una función doble, siendo parte también de la segunda trayectoria de flujo del WF. Esto puede ser así para los conductos (p. ej., en forma de tuberías) que pueden usarse dualmente tanto en la primera como en la segunda trayectoria de flujo (a veces en flujo del WF opuesto). Esto también puede ser así para otros elementos, tal como el primer y segundo intercambiadores de calor de contraflujo definidos a continuación que pueden ser el mismo elemento usado en ambas trayectorias de flujo, o el condensador que puede configurarse para servir, en una trayectoria de flujo de WF opuesta, también como el evaporador.

Mediante algunas modalidades del sistema del primer aspecto del sistema, el sistema comprende un primer intercambiador de calor de contraflujo, típicamente un recuperador, que puede disponerse en la primera trayectoria de flujo entre la turbina y el

condensador y configurado para intercambiar calor entre WF que sale de la turbina y WF que sale del condensador.

Por algunas modalidades del sistema del primer aspecto del sistema, el sistema comprende un segundo
5 intercambiador de calor de contraflujo del sistema, típicamente un recuperador, que puede ser el mismo o diferente elemento que el primer intercambiador de calor, que puede disponerse en la segunda trayectoria de flujo entre el compresor y el evaporador y configurado para
10 intercambiar calor entre WF que sale del compresor y WF que sale del evaporador.

A continuación se describirá la trayectoria de flujo de WF en los modos operativos de carga y descarga del primer aspecto del sistema.

15 En el modo de descarga, de acuerdo con una modalidad del primer aspecto del sistema de esta descripción, el WF fluye en la primera trayectoria de flujo a una o más boquillas en la turbina para mezclar de esta manera el WF con el HTL para formar una mezcla de
20 HTL/WF; en este flujo, el WF puede pasar a través del primer intercambiador de calor. El WF puede ser un WF de LVPhC. La mezcla de HTL/WF se somete a una expansión cuasi-isotérmica en la una o más boquillas, a saber expansión en la que el WF se mantiene aproximadamente a
25 la misma temperatura debido al intercambio de calor con el HTL que tiene una capacidad calorífica mucho mayor. En

otras palabras, el enfriamiento del WF en el proceso de expansión tiene un pequeño efecto sobre la temperatura de la mezcla de HTL/MF. Esta expansión cuasi-isotérmica provoca la aceleración de la mezcla de HTL/WF y la
5 descarga de la mezcla a través de la una o más boquillas. La energía cinética que se descarga a través de las boquillas se convierte en trabajo mediante la inducción de rotación de la turbina, mientras reduce la temperatura del HTL. Este trabajo puede ser convertido en
10 electricidad (producida en un generador eléctrico acoplado giratoriamente a la turbina) que puede ser almacenada o utilizada inmediatamente. La mezcla de HTL/WF descargada de las boquillas que se recibe puede recibirse en una primera zona de separación opcional que
15 se configura para separar el WF del HTL. El HTL separado se puede reciclar de nuevo a dicho depósito caliente o a una o más boquillas (estos procesos típicamente ocurren en paralelo, una porción del HTL se recicla de nuevo al depósito caliente mientras que algún otro HTL caliente se
20 impulsa fuera del depósito en su lugar y la otra porción se continúa ciclando de regreso a la una o más boquillas). El WF separado puede dirigirse opcionalmente para que fluya a través del primer intercambiador de calor para reducir su temperatura y después recibirse en
25 el condensador para someterse a condensación en este. El WF condensado descargado del condensador fluye, este

flujo puede ser forzado por una disposición de presurización configurada para presurizar o propulsar el WF, por ejemplo, tal disposición que comprende una bomba de WF, configurada para bombear el WF en una alta presión de regreso a la turbina, típicamente a través del primer intercambiador de calor opcional donde puede calentarse por el WF de contraflujo que fluye desde la turbina al condensador (que se enfría mientras pasa a través del intercambiador de calor, como se señaló anteriormente).

10 Dicha disposición también puede presurizar el WF a la presión de operación de la turbina. Dicha disposición puede disponerse corriente arriba del primer intercambiador de calor y corriente abajo del condensador. En algunas modalidades, una bomba de WF se integra en el condensador. En algunas modalidades, la

15 disposición de bombeo se constituye por la turbina, a saber, las fuerzas centrífugas de la turbina que hacen que el WF sea bombeado a alta presión de vuelta a la turbina.

20 La turbina puede tener una pluralidad de boquillas acopladas fijamente al eje de la turbina de tal manera que la energía cinética generada induzca de esta manera la rotación del eje. Las boquillas pueden disponerse sobre elementos dedicados que se extienden radialmente desde el eje o pueden disponerse en las

25 cuchillas giratorias de la turbina.

En el modo operativo de carga, de acuerdo con una modalidad del primer aspecto del sistema de esta descripción, el WF fluye en la segunda trayectoria de flujo y el compresor se configura para recibir HTL
5 caliente desde el depósito de HTL caliente y vapor de WF, p. ej., pasando a través del segundo intercambiador de calor, para formar una mezcla de HTL/WF. El WF en esta mezcla se comprime cuasi-isotérmicamente y opcionalmente condensa (en el caso de que sea un LVPhC) a lo largo de
10 una trayectoria de flujo del compresor, (típicamente, fluyendo el WF y el HTL juntos a través de una boquilla que se configura para permitir una compresión cuasi-isotérmica, a saber compresión en la que el WF se mantiene aproximadamente a la misma temperatura debido al
15 intercambio de calor con el HTL que tiene una capacidad calorífica mucho mayor. En otras palabras, el calentamiento del WF en el proceso de compresión tiene un efecto insignificante sobre la temperatura de la mezcla de HTL/MF. La mezcla de HTL/WF puede separarse en una
20 segunda zona de separación opcional. El HTL separado se recicla de nuevo al depósito caliente o al compresor (estos típicamente ocurren en paralelo: una parte del HTL se recicla de nuevo al depósito caliente mientras que otro HTL caliente es impulsado hacia el compresor y la
25 otra porción se continúa ciclando dentro del compresor). El WF comprimido se descarga del compresor y fluye, p.

ej., a través del segundo intercambiador de calor para reducir su temperatura, al evaporador para someterse a evaporación, opcionalmente evaporación ultrarrápida por lo que se enfría a una temperatura fría por debajo de la temperatura del entorno. La temperatura fría se establece por la presión de entrada al compresor. Opcionalmente, solo se evaporó una parte del WF. Después de la evaporación, los vapores pueden ser calentados además por el ambiente para alcanzar una evaporación completa a la temperatura del entorno. El WF evaporado descargado del evaporador puede ser dirigido para que fluya a través del segundo intercambiador de calor opcional para calentarse de esta manera a través del intercambio de calor con el WF que fluye en contracorriente, fluyendo del compresor al evaporador (que se enfría mientras pasa por el intercambiador de calor, como se señaló anteriormente) y después de regreso al compresor para someterse a otro ciclo. Opcionalmente, la evaporación completa se alcanza solo después del recuperador. El compresor puede operarse por un motor eléctrico acoplado giratoriamente a este, para de esta manera almacenar energía eléctrica producida o acceder a energía eléctrica en la red para usar en un momento posterior, p. ej., momentos de necesidades máximas de energía de la red.

En algunas modalidades del primer aspecto del sistema, tanto el modo operativo de descarga como el modo

operativo de carga están de acuerdo con las modalidades descritas anteriormente.

El sistema del primer aspecto del sistema es, por lo tanto, conmutable entre dos modos operativos - un modo de descarga y un modo de carga. En el modo de descarga, el HTL del depósito de HTL caliente se cicla entre el depósito y la turbina, empleando el calor almacenado en el depósito de HTL caliente y suministrado por el HTL, el cual se reduce en temperatura a lo largo de este proceso. El WF en el modo de descarga fluye en una trayectoria de flujo que pasa a través de los diversos elementos en el siguiente orden (el punto de inicio en la siguiente descripción es arbitrario ya que el WF se cicla conscientemente en el proceso): recibido en la turbina; después fluye a través del primer intercambiador de calor en una dirección de flujo hacia el condensador; después regresa desde el condensador a través del primer intercambiador de calor, en una dirección de contraflujo a la de dicha dirección de flujo, de vuelta a la turbina; este flujo, particularmente el del condensador a la turbina, siendo dirigido por la bomba de WF. En el modo de carga, el HTL desde el depósito de HTL caliente se cicla entre el depósito y el compresor o estando en acoplamiento térmico con el HTL del compresor, en caso de que el compresor tenga su propio HTL del compresor, aumentando su temperatura en cada ciclo. El WF en el modo de carga fluye

en una trayectoria de flujo que pasa a través de los siguientes elementos en el siguiente orden (en la presente nuevamente, el punto de inicio en la siguiente descripción es arbitrario ya que el WF se cicla conscientemente en el proceso): recibido en el compresor; después fluye en una dirección a través del segundo intercambiador de calor, al evaporador; y después desde el evaporador a través del segundo intercambiador de calor, en una dirección de contraflujo a la de dicha una dirección de flujo, de regreso al compresor.

Un segundo aspecto del sistema de la presente descripción proporciona un sistema para almacenar calor y recuperar energía eléctrica, que comprende una turbina bifásica y un compresor bifásico. También comprende un depósito de HTL caliente que contiene HTL caliente y un depósito de HTL frío que contiene HTL frío, cada uno selectivamente conectable a un compresor/condensador cuasi-isotérmico, térmicamente aislado o una turbina cuasi-isotérmica, aislada térmicamente dependiendo del modo operativo del sistema.

El compresor bifásico puede comprender el HTL del compresor para su operación de compresión y el depósito de HTL del compresor para contener el HTL del compresor. El HTL del compresor puede ser el mismo que el HTL caliente y frío y el depósito de HTL del compresor puede ser el mismo que el depósito de HTL caliente y frío

y después en el modo de carga el depósito de HTL caliente se acopla fluídicamente al compresor para alimentarlo con HTL caliente y en el modo de descargar el depósito de HTL frío se acopla fluídicamente al compresor para
5 alimentarlo con HTL frío; o el HTL del compresor y el depósito de HTL del compresor pueden ser diferentes del HTL caliente y el depósito de HTL caliente, respectivamente, y el HTL del compresor fluye en una trayectoria de flujo que le permite intercambiar
10 térmicamente calor con el depósito de HTL caliente para calentar el depósito de HTL caliente en el modo de carga o enfriar el depósito de HTL frío en el modo de descarga.

El HTL caliente se define por una temperatura que es mayor que el HTL frío. El HTL caliente se puede
15 usar: (i) en el modo de carga en la compresión del WF mezclado en este en el compresor mientras se calienta gradualmente durante la compresión cuasi-isotérmica del WF en el compresor, provocando un aumento gradual comparable de la temperatura del depósito caliente, y
20 (ii) en el modo de descarga para operar la turbina, a saber, para participar en la expansión isotérmica de la mezcla de HTL/fluido de trabajo, utilizando el calor almacenado en el depósito caliente que disminuye gradualmente en este proceso. El HTL frío se puede usar:
25 (i) en el modo de descarga para condensar y comprimir el WF en el compresor, y (ii) en el modo de carga para

participar en la expansión isotérmica de la mezcla de HTL/WF, calentando en este proceso. Por lo tanto, la temperatura mínima del HTL frío tiene que estar por encima de la temperatura de ebullición del fluido de trabajo en la presión inicial en la turbina. El HTL caliente puede ser del mismo material o diferente al HTL frío.

En el modo operativo de carga del sistema del segundo aspecto del sistema, el calor fluye, a través del intermedio del WF, del depósito frío al depósito caliente, con el primero enfriándose y el último calentándose en este proceso, mediado por la energía eléctrica de entrada al compresor. En el modo operativo de descarga del sistema, el calor fluye desde el depósito caliente al depósito frío, a través del intermedio del WF, con el primero enfriándose y el último calentándose en este proceso, este flujo de energía se convierte en energía eléctrica por la turbina.

El sistema del segundo aspecto del sistema comprende además un intercambiador de calor intermedio que se dispone en una trayectoria de flujo entre el compresor y la turbina.

En un modo operativo de carga del sistema del segundo aspecto del sistema, el compresor/condensador que es alimentado por energía externa, típicamente por un motor eléctrico que recibe energía de una fuente externa,

p. ej., accede a la entrada eléctrica desde la red en tiempos de bajo uso eléctrico o energía eléctrica producida que no puede ser dirigida a la red en el momento de la producción, recibe HTL caliente desde el depósito de HTL caliente y comprime y condensa cuasi-isotérmicamente el LVPhC WF mezclado con el HTL caliente. Esta compresión calienta gradualmente el HTL caliente a través del proceso de carga. La mezcla de HTL/WF se separa, con el HTL caliente se dirigen al depósito de HTL o se recicla para su uso continuo dentro del compresor (como se mencionó anteriormente, estos ocurren típicamente en paralelo, una porción del HTL se recicla de nuevo al depósito caliente mientras que otro HTL caliente se propulsa hacia el compresor y alguna otra porción continúa ciclando dentro del compresor). El WF comprimido y condensado descargado del compresor/condensador fluye en una trayectoria de flujo a través del primer intercambiador de calor para reducir su temperatura y después, opcionalmente, para ser mezclado con HTL frío en una o más boquillas de la turbina a vaporizar y someterse a expansión isotérmica o cuasi-isotérmica en la una o más boquillas que aceleran el HTL y la mezcla de WF vaporizada para producir energía cinética, de manera similar a la describa arriba. Esta energía cinética es convertible en energía eléctrica a través de un generador eléctrico acoplado giratoriamente

a la turbina que puede ser usada para proporcionar energía auxiliar al compresor. Opcionalmente, el líquido frío WF se evapora parcialmente de manera ultrarrápida sin una turbina y se evapora completamente extrayendo calor del ambiente en un evaporador. El WF vaporizado descargado de la turbina, o del evaporador, se dirige hacia el primer intercambiador de calor para fluir a través de este en una trayectoria de contraflujo a la de dicha única trayectoria de flujo, para ser, por lo tanto, calentado (mientras que el WF comprimido y condensado se enfría en este proceso) y después recibido en el compresor por otro ciclo.

En el modo operativo de descarga del sistema del segundo aspecto del sistema, el compresor (que es accionado por una porción de la energía que se produce por la turbina, como se señala a continuación) se configura opcionalmente para recibir HTL frío del depósito de HTL frío y condensar y comprimir cuasi-isotérmicamente el WF de LVPhC mezclado en el HTL frío. Esta compresión calienta gradualmente el HTL frío a través del proceso de carga. La mezcla de HTL/WF se separa, con el HTL caliente se dirigen al depósito de HTL o se recicla para su uso continuo dentro del compresor (como se mencionó anteriormente, estos ocurren típicamente en paralelo, una porción del HTL se recicla de nuevo al depósito caliente mientras que otro HTL caliente se propulsa hacia el compresor y alguna otra

porción continúa ciclando dentro del compresor).
Opcionalmente, el WF se condensa en un condensador condensa
el WF. El WF condensado que se descarga del compresor, o el
condensador, fluye en una trayectoria de flujo de una
5 dirección a través del primer intercambiador de calor para
de esta manera aumentar su temperatura y después a la
turbina mezclarse con HTL caliente en una boquilla de la
turbina para vaporizar y someterse a una expansión cuasi-
isotérmica que acelera la mezcla de HTL y WF para producir
10 energía cinética convertible en energía eléctrica. El WF
descargado de la turbina se dirige hacia el primer
intercambiador de calor, para fluir en una trayectoria de
flujo de dirección contraria a la de dicha trayectoria de
flujo en una dirección que se enfriará (mientras que el WF
15 condensado se calienta en este proceso) y después para ser
recibido en el compresor, o condensador, para otro ciclo.

Es de señalar que en la modalidad que el
compresor tiene su propio HTL del compresor, el
acoplamiento del compresor a los depósitos de HTL caliente
20 y frío es solamente acoplamiento térmico y el HTL caliente
y HTL frío no participan en el proceso de compresión en el
compresor. En esta modalidad, el único HTL que participa en
el proceso de compresión es el HTL del compresor y la
trayectoria de flujo del HTL del compresor se diseña para
25 intercambiar calor con el depósito de HTL caliente y el

depósito de HTL frío en el modo de carga y modo de descarga, respectivamente.

Un sistema de acuerdo con un tercer aspecto del sistema es similar en la mayoría de sus elementos al del
5 segundo aspecto del sistema, siendo la principal diferencia que el WF es un WF de LVPhC.

El sistema, de estos terceros aspectos del sistema, para almacenar y recuperar energía en modos operativos respectivos de carga y de descargar, comprende
10 una turbina bifásica y un compresor bifásico; un depósito de HTL caliente que contiene HTL caliente y un depósito de HTL frío que contiene HTL frío, cada uno de ellos selectivamente conectable a un compresor/condensador o a la turbina; un intercambiador intermedio dispuesto en una
15 trayectoria de flujo entre el compresor y la turbina. El compresor bifásico puede comprender el HTL del compresor para su operación de compresión y el depósito de HTL del compresor para contener el HTL del compresor. El HTL del compresor puede ser el mismo que el HTL caliente y frío y
20 el depósito de HTL del compresor puede ser el mismo que el depósito de HTL caliente y frío y después en el modo de carga el depósito de HTL caliente se acopla fluídicamente al compresor para alimentarlo con HTL caliente y en el modo de descarga el depósito de HTL frío
25 se acopla fluídicamente al compresor para alimentarlo con HTL frío, o el HTL del compresor y depósito del HTL del

compresor pueden ser diferente del HTL caliente y el depósito de HTL caliente, respectivamente, y el HTL del compresor fluye en una trayectoria de flujo que le permite intercambiar térmicamente calor con el depósito
5 de HTL caliente para calentar el depósito de HTL caliente en el modo de carga o enfriar el depósito de HTL frío en el modo de descarga.

En el modo de carga, el compresor/condensador está hecho para conectarse fluídicamente al depósito de
10 HTL caliente que se configura para recibir HTL caliente desde este y comprimir y condensar cuasi-isotérmicamente un WF, que es un fluido de trabajo de cambio de fase líquido/vapor (LVPhC) mezclado con el HTL caliente. El LVPhC condensado fluye a través del primer intercambiador
15 de calor para reducir su temperatura y después ser mezclado con HTL frío en una o más boquillas de la turbina para vaporizar y someterse a una expansión isotérmica o cuasi-isotérmica que acelera la mezcla de HTL y LVPhC vaporizado, para producir energía cinética
20 convertible en energía eléctrica. El LVPhC vaporizado descargado de la turbina está siendo dirigido hacia el intercambiador de calor intermedio para ser calentado por otro ciclo.

En el modo de descarga, el compresor se configura
25 para recibir HTL frío del depósito de HTL frío y condensar y comprimir cuasi-isotérmicamente el LVPhC mezclado en el

HTL frío, de tal manera que el LVPhC condensado fluye a través del intercambiador de calor intermedio para aumentar su temperatura y después mezclarse con HTL caliente en una o más boquillas de la turbina. En las boquillas la mezcla
5 se vaporiza y se somete a una expansión cuasi-isotérmica que acelera la mezcla de HTL y LVPhC para producir energía cinética, convertible en energía eléctrica. El LVPhC descargado de la turbina está siendo dirigido hacia el primer intercambiador de calor para ser enfriado por otro
10 ciclo.

Es de señalar que en la modalidad que el compresor tiene su propio HTL del compresor, el acoplamiento del compresor a los depósitos de HTL caliente y frío es solamente acoplamiento térmico y el HTL caliente
15 y HTL frío no participan en el proceso de compresión en el compresor. En esta modalidad, el único HTL que participa en el proceso de compresión es el HTL del compresor y la trayectoria de flujo del HTL del compresor se diseña para intercambiar calor con el depósito de HTL caliente y el
20 depósito de HTL frío en el modo de carga y modo de descarga, respectivamente.

A continuación se describirán algunas modalidades de esta descripción. Cabe señalar que cualquier combinación de las modalidades descritas a
25 continuación con respecto a cualquier aspecto del sistema de esta presente descripción es aplicable. En otras

palabras, cualquier aspecto del sistema de la presente descripción puede definirse mediante cualquier combinación de las modalidades descritas. El término “sistema”, a menos que se indique específicamente de cualquier otra manera, se usará debajo de la referencia
5 colectivamente a un sistema del primer aspecto del sistema, el segundo aspecto del sistema y el tercer aspecto del sistema.

En algunas modalidades del sistema, el
10 evaporador y el condensador son el mismo elemento. A saber, el evaporador/condensador es un elemento que se configura para intercambiar calor con su entorno y dependiendo de la relación entre la temperatura del WF, la presión, y el entorno del evaporador/condensador el
15 resultado que se obtiene es ya sea evaporación del WF o condensación del WF. En algunas modalidades, se preforma una evaporación ultrarrápida parcial del líquido WF antes de la evaporación completa en el evaporador.

En algunas modalidades del sistema hay un
20 intercambiador de calor en el sistema que opera tanto en los modos de carga como de descarga de este. Por ejemplo, en el caso del sistema del primer aspecto del sistema, el primer intercambiador de calor de contraflujo y el segundo intercambiador de calor de contraflujo es el
25 mismo elemento intercambiador de calor. En el caso de un sistema del primer aspecto del sistema, que tiene un

intercambiador de calor, el intercambiador de calor es selectivamente conectable a la turbina o al compresor, en modo operativo de descarga o carga respectivo. Sin embargo, también es posible el uso de dos elementos
5 cambiadores de calor diferentes, por ejemplo, uno configurado óptimamente para su uso en el modo operativo de descarga y el otro configurado óptimamente para su uso en el modo operativo de carga.

En algunas modalidades, el sistema comprende
10 además al menos una boquilla de reducción de presión dispuesta en la segunda trayectoria de flujo (y que opera en el proceso de carga) entre el segundo intercambiador de calor y el evaporador para reducir la presión y la temperatura del WF que fluye desde el segundo
15 intercambiador de calor al evaporador, y para lograr de esa manera una mayor diferencia de temperatura entre el entorno del evaporador y el WF en el evaporador para aumentar la transferencia de calor desde el entorno. Cabe señalar que en modalidades en las que (1) hay un intercambiador común
20 de calor, (2) el evaporador es el mismo elemento que el condensador, o (3) tanto (1) como (2), la boquilla de reducción de presión se acopla selectivamente al segundo intercambiador de calor y el evaporador solo en el modo de carga y se desconecta en el modo de descarga.

25 En algunas modalidades del sistema, la boquilla de reducción de presión es un orificio.

En algunas modalidades, la boquilla de reducción de presión es una boquilla de evaporación ultrarrápida, que evapora parcialmente el WF y enfría la temperatura del WF hasta debajo de la temperatura del entorno.

En algunas modalidades del sistema, el WF es un WF de cambio de fase líquido/vapor (LVPhC), seleccionado para estar (i) en una fase de vapor cuando (1) entra en el compresor, (2) cuando está en un equilibrio de temperatura después de mezclarse con el HTL en la turbina, y (3) cuando sale del evaporador, y (ii) en una fase líquida cuando (4) sale del condensador y (5) sale del compresor.

En algunas modalidades del sistema, uno o ambos del compresor y la turbina están aislados térmicamente.

En algunas modalidades, el sistema comprende además una o más válvulas selectivas que permiten las conexiones selectivas del depósito de HTL caliente al compresor o a la turbina.

En algunas modalidades, el sistema comprende además una o más válvulas selectivas que permiten las conexiones selectivas del depósito de HTL caliente al compresor o a la turbina, en modos de carga y descarga respectivos; y las conexiones selectivas del depósito de HTL frío al compresor o a la turbina, en los respectivos modos de carga y descarga.

En algunas modalidades del sistema, el HTL se selecciona de una lista que consiste en: líquidos anticongelantes, agua, agua salada, aceite térmico, sal fundida, etilenglicol y WF en una fase líquida.

5 En algunas modalidades del sistema, el WF se selecciona de una lista que consiste en: aire, nitrógeno, hidrógeno, CO_2 , amoníaco, propano, materiales de cambio de fase ORC, pentano, ciclopentano, materiales de cambio de fase de refrigeración. En algunas modalidades, el HTL del
10 compresor es el mismo material que el WF. Opcionalmente, el HTL del compresor y el WF son del mismo material cuando el HTL del compresor es diferente al HTL caliente y fluye en un bucle cerrado en el compresor. Para calentar el depósito de HTL caliente, el HTL del
15 compresor fluye a lo largo de una trayectoria de flujo que tiene una porción que permite el intercambio de calor con el depósito de HTL caliente para transferir calor del HTL del compresor al depósito de HTL caliente y por lo tanto al HTL caliente.

20 En algunas modalidades, el sistema comprende además una fuente térmica externa, p. ej., de una fuente de energía residual, quema de gas o combustibles fósiles, para permitir el calentamiento controlable del HTL. Este puede ser el caso, p. ej., cuando el sistema está
25 destinado para ser usado como un motor térmico estándar, y se puede usar una fuente de calor externa para calentar

el HTL en el proceso de producción de energía; por ejemplo, para calentar el evaporador o para aplicar calor a través de zonas especiales de calentamiento de la trayectoria de flujo del HTL. Esta configuración se puede
5 usar cuando se agota la energía térmica en el sistema.

Por algunas modalidades de esta descripción se usa un calor externo para calentar el WF en el evaporador para mejorar la evaporación o elevar el WF evaporado a una temperatura mayor que la temperatura ambiente,
10 opcionalmente durar a una presión mayor que la presión ambiente, ahorrando el consumo de energía del compresor. Opcionalmente, la fuente de calor para calentar el evaporador es una fuente de calor residual.

En algunas modalidades del sistema, la fuente
15 térmica externa se proporciona mediante la quema de gas o combustible fósil que calienta directamente el HTL.

En algunas modalidades, el sistema comprende además una fuente de calor externa para permitir el calentamiento controlable del depósito caliente.

20 En algunas modalidades del sistema, el condensador y el evaporador se configuran para intercambiar calor con su entorno por la condensación y la evaporación, respectivamente.

En algunas modalidades del sistema, el
25 evaporador se configura para calentarse mediante una fuente de calor externa, tal como calor residual, en el

modo operativo de carga. La fuente de calor externa se puede usar para evaporar el fluido de trabajo y llevarlo a una temperatura deseada, lo que puede aumentar la eficiencia del sistema. Cuando el condensador y el evaporador son el mismo elemento, la fuente de calor externa solo se acopla térmicamente con el condensador/evaporador en el modo de carga.

En algunas modalidades, el sistema comprende además un recinto aislado térmicamente que comprende el condensador y el evaporador, en donde el recinto típicamente permite un intercambio de calor controlado con el entorno. Para ello puede comprender una entrada para recibir calor de la fuente de calor externa, p. ej., en forma de gases de escape, o calor residual, y una salida para la descarga controlada del exceso de calor y para permitir la circulación del calor entrante y el calor saliente del recinto.

En algunas modalidades del sistema, la fuente de calor externa es calor residual. El calor residual puede estar a cualquier temperatura por encima de la temperatura ambiente.

En algunas modalidades del sistema, los intercambiadores de calor, que incluyen el primer y segundo intercambiadores de calor de contraflujo del primer aspecto del sistema y los intercambiadores de calor intermedios del segundo y tercer aspectos son recuperadores.

En algunas modalidades del sistema, el sistema se configura de tal manera que la presión del WF en una entrada del compresor y la presión del WF en el evaporador son aproximadamente iguales y menores que la
5 presión crítica en el punto crítico a una temperatura menor que la temperatura circundante, permitiendo de esta manera que la evaporación del WF y el calor fluya desde los vapores circundantes a los WF.

En algunas modalidades del sistema, el primer
10 intercambiador de calor comprende un primer péndulo térmico.

En algunas modalidades del sistema, el intercambiador de calor (que incluye el primer o segundo intercambiador de calor del primer aspecto del sistema y el
15 intercambiador de calor intermedio del segundo y tercer aspectos del sistema) comprende una primera sección de intercambiador de calor, una segunda sección de intercambiador de calor y una primera sección de péndulo térmico; en donde la trayectoria de flujo del WF entre la
20 primera y la segunda secciones del intercambiador de calor es a través del péndulo térmico.

En algunas modalidades del sistema, el péndulo térmico se diseña para intercambiar calor solo con el WF en la fase líquida que fluye en el primer intercambiador
25 de calor.

En algunas modalidades del sistema, la trayectoria de flujo del WF es tal que fluye consecutivamente, en los diferentes modos operativos, ya sea desde la primera sección del intercambiador de calor al
5 péndulo térmico y después a la segunda sección de intercambiador de calor o desde la segunda sección de intercambiador de calor al péndulo térmico y después a la primera sección de intercambiador de calor.

Cuando un sistema comprende más de un
10 intercambiador de calor, el péndulo térmico, si existe, y el diseño general de los intercambiadores pueden ser iguales o diferentes en todos los intercambiadores de calor.

En algunas modalidades del sistema, el péndulo
15 térmico tiene un valor de capacidad calorífica mayor que la capacidad calorífica del WF en su fase líquida y se configura para intercambiar calor con el WF que pasa a través de este, a saber, el fluido de trabajo que se descarga ya sea desde el primer intercambiador de calor o
20 el segundo intercambiador de calor, para compensar la ineficiencia de intercambio de calor entre la fase líquida del WF y la fase gaseosa del WF de tal manera que (1) en la carga operativa de carga de calor modo el péndulo térmico se calienta mientras enfría el líquido antes de que entre
25 en la turbina y (2) en el modo operativo de descarga el

péndulo térmico se enfría mientras calienta el líquido antes de que entre en la turbina.

En algunas modalidades del sistema, las trayectorias de flujo del WF son trayectorias de flujo de bucle cerrado, a saber, el WF fluye en un sistema cerrado y se recicla para cada ciclo termodinámico del sistema.

En algunas modalidades del sistema, la turbina comprende una o más boquillas y se configura para aumentar la presión del HTL recibido en ella para obtener HTL de alta presión, es decir, presión por encima de la ambiental o por encima de la presión del HTL en el depósito caliente de HTL, y para introducir el HTL de alta presión en dichas una o más boquillas para ser mezcladas allí con WF a aproximadamente la misma presión para formar la mezcla de HTL/WF. Esto permite la expansión cuasi-isotérmica del WF dentro de una o más boquillas que provoca la aceleración de la mezcla de HTL/WF hacia las salidas de las boquillas, siendo la energía cinética de la mezcla de HTL/WF que se expulsa de las salidas usada para producir energía.

La turbina puede ser una turbina de reacción o una turbina de impulso.

En algunas modalidades del sistema, la turbina comprende una bomba de HTL configurada para presurizar el HTL recibido en la turbina antes de su introducción en su boquilla.

En algunas modalidades del sistema, la turbina es una turbina de reacción.

En algunas modalidades del sistema, la primera zona de separación comprende una unidad de recogida para recoger el HTL expulsado separado del WF y para permitir dirigirlo al depósito de HTL caliente o de vuelta a la boquilla de la turbina. Por ejemplo, una porción del HTL puede dirigirse al depósito de HTL y una porción del HTL puede dirigirse nuevamente a la boquilla o a la bomba de HTL.

En algunas modalidades del sistema, dicha turbina es una turbina de reacción y la una o más boquillas se acoplan, se montan sobre o parte de la turbina de reacción.

En algunas modalidades, la unidad de recolección define un drenaje en el que se acumula el HTL separado, y el HTL se succiona desde el drenaje hacia la boquilla por la fuerza centrífuga provocada por la turbina de reacción, actuando sobre el líquido en la tobera que proporciona una fuerza motriz en toda la columna HTL culminando en tal succión. Para una succión sin problemas, siempre se debe mantener algo de HTL en el drenaje de HTL. Esta fuerza centrífuga cumple la función de la bomba de HTL. Tal propulsión del HTL desde el drenaje, hace que el HTL ingrese a la boquilla a la presión operativa de la boquilla permitiendo la expansión isotérmica deseada.

En algunas modalidades del sistema, la primera zona de separación comprende un marco curvo o circular sobre el que se expulsa la mezcla, el acoplamiento de la mezcla con el marco curvo o circular da como resultado un
5 flujo de película sobre una superficie del marco curvo o circular.

En algunas modalidades del sistema, el compresor comprende una bomba de HTL configurada para aumentar la presión del HTL, la bomba de HTL se acopla fluídicamente a
10 una boquilla de compresor que se configura para recibir HTL presurizado de la bomba de HTL y para mezclarlo con WF para obtener mezcla de HTL/WF dentro de la boquilla, en donde la boquilla se diseña para descargar el HTL/WF en una presión mayor que la presión del WF introducido en el compresor.

15 En algunas modalidades del sistema, el condensador comprende dicha bomba de WF.

En algunas modalidades del sistema, dicho HTL del compresor es diferente al HTL caliente y fluye en un bucle cerrado en el compresor e intercambia térmicamente
20 calor con el depósito de HTL caliente en el modo de carga. En otras palabras, el compresor tiene su propio HTL del compresor que fluye en un bucle cerrado. El HTL se calienta durante los ciclos y flujos de compresión, como parte de su trayectoria de flujo de bucle cerrado,
25 de tal manera que intercambia calor con el depósito de

HTL caliente para calentar el depósito de HTL caliente que contiene el HTL caliente que es usado por la turbina.

En algunas modalidades del sistema, dicho HTL del compresor es el mismo que el HTL caliente y en el modo de carga el depósito de HTL caliente es conectable
5 fluídicamente al al menos un compresor bifásico para alimentar el HTL caliente al al menos un compresor. A saber, el depósito de HTL caliente se conecta fluídicamente al compresor en el modo de carga y el HTL
10 caliente fluye entre el compresor y el depósito de HTL caliente.

En algunas modalidades, el sistema comprende además al menos una disposición de presurización configurada para presurizar o propulsar el WF después de
15 condensarse en el al menos un condensador.

En algunas modalidades del sistema, dicha disposición de presurización comprende una bomba.

En algunas modalidades del sistema, dicha disposición de presurización se comprende dentro de
20 la turbina.

En algunas modalidades del sistema, dicha disposición de presurización se constituye por la turbina, es decir, la rotación de la turbina y sus fuerzas centrífugas provocando que el WF sea bombeado al
25 interior de la turbina a la alta presión de operación en la turbina antes de la expansión isotérmica.

La siguiente es una descripción de algunas modalidades ilustrativas del compresor o compresor/condensador del sistema de la presente descripción. Cabe señalar que cualquiera de las
5 siguientes definiciones, en cualquier combinación, puede aplicarse y usarse en el sistema de la presente descripción.

Los elementos del compresor se describirán en referencia al flujo de fluido comprimido en la dirección
10 del flujo corriente abajo. El término “proximal” y “distal” se usará para denotar ubicaciones relativas respectivas que están corriente arriba o corriente abajo con respecto a una de referencia. En otras palabras, una ubicación proximal es aquella en la que el fluido fluye
15 antes de llegar a una más distal.

El compresor puede comprender una bomba de compresor, configurada para bombear HTL en un círculo cerrado lleno de HTL, uno o más orificios de introducción de WF y zona de manipulación de fluido dispuesta entre
20 una entrada de succión proximal y una salida distal. La sección de manipulación de fluidos comprende cuatro secciones, que incluye una primera zona de manipulación de fluidos que tiene una configuración de estrechamiento o convergente de sus paredes entre un extremo proximal
25 ancho y un extremo distal más estrecho. Esto tiene el propósito de acelerar el flujo del HTL y reducir su

presión estática para tener una presión menor al entrar en la segunda sección. Esta segunda sección es sección de mezcla de fluidos, que tiene una configuración convergente entre un extremo proximal estrecho (que también es el extremo distal de la primera sección) y un extremo distal más amplio.

El orificio de introducción de WF puede ser una o más boquillas dedicadas configuradas para introducir WF en la segunda sección u orificios definidos en las paredes de esta sección configuradas para la introducción de WF en esta zona, donde se mezcla con el HTL para formar la mezcla de HTL/WF. En esta etapa la velocidad del sonido cae, y la velocidad de mezcla se vuelve supersónica.

Una tercera sección de la zona de manipulación de fluidos tiene una configuración de estrechamiento entre su extremo proximal y su extremo distal, configurada para desacelerar el flujo supersónico de la mezcla de HTL/WF a velocidad sónica o subsónica, y para aumentar la presión de la mezcla bifásica que fluye a lo largo de la tercera sección de manipulación de fluidos. La cuarta sección de manipulación de fluidos tiene una configuración en expansión entre sus extremos proximal y distal y configurada para desacelerar y aumentar la presión estática del fluido subsónico de la mezcla de HTL/WF recibida de la tercera sección de manipulación de

fluidos a una presión en la que existe desde la salida de la zona de manipulación.

En algunas modalidades, el WF es vapor, que se condensa a lo largo de la compresión cuasi-isotérmica, y la mezcla de fluido descargada desde la salida es una mezcla líquida con WF presurizado o condensado en la mezcla de HTL/WF. Es decir, el WF puede succionarse en la zona de manipulación en una fase gaseoso, y durante el flujo en varias secciones el WF cambia su fase a líquido y se descarga en el extremo de salida proximal.

En algunas modalidades de la zona de manipulación, el HTL tiene un valor de presión en la salida distal de la cuarta sección que es menor que un valor de presión inicial del HTL que se introduce en la entrada proximal de la primera sección hasta 2 Bar, hasta 1 Bar, hasta 0,5 Bar, hasta 0,3 Bar o hasta 0,1 Bar.

En algunas modalidades, el valor de presión inicial es mayor que la presión de salida en hasta 30 %.

En algunas modalidades del zona de manipulación, el fluido de succión que se hace fluir en la primera sección de manipulación de fluido tiene una velocidad subsónica.

En algunas modalidades de la zona de manipulación, la entrada de la zona de manipulación se configura para estar en comunicación fluida con una fuente

de HTL de boquilla para recibir el HTL en una presión mayor que la presión ambiental.

En algunas modalidades del compresor, se proporciona una zona de separación que se configura para
5 recibir la mezcla de fluido descargada desde la salida de la zona de manipulación y separar el HTL y el WF presurizado, en donde el WF presurizado separado se dirige a una salida de fluido para ser descargado a través de la misma.

10 En algunas modalidades del compresor, la mezcla presurizada de HTL/WF se descarga desde la salida de fluido proximal a la misma velocidad de flujo del HTL introducido en la entrada proximal.

En algunas modalidades del compresor, la unidad
15 de bomba del compresor se configura para recibir el fluido de la zona de separación.

En algunas modalidades del compresor, la bomba del compresor es una bomba centrífuga, p. ej., una bomba de fluido vertical.

20 En algunas modalidades del compresor, la bomba centrífuga tiene una entrada de fluido, p. ej., una entrada inferior en el caso de una bomba centrífuga vertical, configurada para permitir el flujo de un líquido a través de la misma, en donde la entrada de
25 líquido está en comunicación fluida con un drenaje de

líquido de la zona de separación que almacena líquido separado.

En algunas modalidades del compresor, la bomba centrífuga tiene al menos un brazo para soportar el flujo de fluido a lo largo de este y acoplado de manera fluida a la al menos una boquilla.

En algunas modalidades del compresor, la bomba centrífuga vertical es giratoria alrededor de su eje vertical para permitir de esta manera la succión de HTL a través de la entrada de fluido inferior.

En algunas modalidades del compresor, el HTL fluye en el sistema en una trayectoria de flujo de fluido, en donde la trayectoria de flujo de fluido incluye al menos una trayectoria de flujo de circuito cerrado, es decir, el líquido separado en la zona de separación se bombea de nuevo a la zona de manipulación, y en donde la unidad de bomba se configura para recibir y presurizar el fluido de la zona de separación para obtener de esta manera el HTL presurizado y fluirlo a la zona de manipulación.

En algunas modalidades del compresor, el HTL se separa por gravitación de la mezcla bifásica en la zona de separación.

En algunas modalidades del sistema, la zona de separación incluye un marco curvo o circular sobre el cual se expulsa la mezcla de dos fases desde la boquilla, el

acoplamiento de la mezcla con el marco curvo o circular da como resultado un flujo de película sobre una superficie del marco curvo o circular para separar así el gas del líquido.

5 En algunas modalidades del compresor, la salida de fluido incluye una válvula reguladora de presión configurada para hacer fluir de manera controlable el HTL comprimido a través de la salida de fluido sobre (i) una diferencia de presión positiva entre el fluido comprimido y
10 un tanque de fluido acoplado de manera fluida a la salida de fluido o (ii) exceder un umbral de presión del fluido comprimido.

La descripción también proporciona un sistema para convertir energía eléctrica en calor y para
15 recuperar calor almacenado en energía eléctrica, que comprende (i) un sistema de acuerdo con el primer, segundo o tercer aspectos del sistema, (ii) al menos un generador eléctrico acoplado giratoriamente a la al menos una turbina para generar electricidad en el modo
20 operativo de descarga, y (iii) al menos un motor eléctrico acoplado giratoriamente al al menos un compresor para operar el compresor para calentar el al menos un depósito caliente.

25 Modalidades

Los siguientes párrafos numerados (escritos, por conveniencia en un formato similar a la de las reivindicaciones) definen algunas modalidades opcionales, que incluyen una serie de modalidades independientes y una
5 serie de modalidades dependientes (a saber, modalidades que se refieren a otra, p. ej., “El sistema de una cualquiera de la modalidad 1-33...”), de acuerdo con aspectos de esta descripción. Estas modalidades pueden aplicarse por sí mismas y también en cualquier combinación
10 adecuada de estas. Se pretende que estas modalidades se añadan a la descripción general anterior y no la limiten de ninguna manera. Cuando una determinada modalidad dependiente depende de otra modalidad (a la que se hace referencia en este párrafo como “modalidad de referencia”) e incluye ciertos elementos a los que se hace referencia
15 con “el” calificador (por ejemplo, “la segunda trayectoria de flujo”), se supone, en relación con tal modalidad dependiente (y solo tal modalidad dependiente), que el elemento calificado existe en el evento de modalidad de referencia si tal elemento no está definido en la
20 modalidad de referencia; tal elemento en la modalidad de referencia es opcionalmente uno de tales elementos citados en otras modalidades o en la descripción anterior.

1. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos operativos respectivos de carga y descarga, que comprende:

al menos un receptáculo de líquido de transferencia de calor (HTL) caliente que contiene HTL caliente;

al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico configurados para comprimir el HTL del compresor, que es el mismo o diferente del HTL caliente del receptáculo caliente;

en donde el al menos un depósito de HTL caliente es selectivamente (i) conectable fluídicamente a la al menos una turbina bifásica en modo operativo de descarga o (ii) conectable fluídicamente o acoplable térmicamente al al menos un compresor bifásico en modo operativo de carga para (1) alimentar HTL caliente a la turbina respectiva en el modo de descarga o para (2) en el modo de carga, ya sea intercambiar calor entre el HTL del compresor y el HTL caliente, cuando el HTL del compresor y el HTL caliente son diferentes, o alimentar HTL caliente al al menos un compresor, cuando el HTL del compresor y el HTL caliente son los

mismos (cabe señalar que el HTL caliente y el HTL del compresor pueden ser diferentes, a saber, no se mezclan entre sí, pero pueden ser del mismo material);

5 al menos un condensador en comunicación fluida con la turbina para recibir y condensar un fluido de trabajo (WF) procedente de la turbina;

10 al menos un evaporador en comunicación fluida con el al menos un compresor para recibir y evaporar WF procedente del al menos un compresor, el al menos un evaporador es un elemento igual o diferente que el al menos un condensador;

15 el modo de carga que define una primera trayectoria de flujo del WF y el modo de carga define una segunda trayectoria de flujo del WF; y

20 en donde en un modo de descarga el WF fluye en la primera trayectoria de flujo desde el al menos un condensador a una o más boquillas dentro de la al menos una turbina, las boquillas se configuran para inducir la rotación de la turbina tras la

25 descarga de fluido de esta, para mezclar de esta manera el WF con el HTL para formar

una mezcla de HTL/WF en las una o más boquillas, en las que el WF experimenta una expansión cuasi-isotérmica, provocando la aceleración de la mezcla de HTL/WF y la descarga de la mezcla a través de la una o más boquillas mientras se reduce la temperatura del HTL, la mezcla de HTL/WF descargada de la una o más boquillas se recibe en al menos una primera zona de separación configurada para separar el WF del HTL, el HTL se recicla de nuevo al al menos un depósito caliente o a la una o más boquillas y el WF separado que fluye y se recibe en el condensador para experimentar condensación en este, el WF condensado descargado desde el al menos un condensador fluye de regreso a la turbina.

2. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos operativos respectivos de carga y descarga, que comprende:
al menos un receptáculo de líquido de transferencia de calor (HTL) caliente que contiene HTL caliente;
al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico;

en donde el al menos un depósito de HTL
caliente es selectivamente (i) conectable
fluidicamente a la al menos una turbina
bifásica en modo operativo de carga o (ii)
5 conectable fluidicamente al al menos un
compresor bifásico en modo operativo de
carga para (1) alimentar HTL caliente a la
turbina respectiva en el modo de descarga o
para (2) alimentar HTL caliente al
10 compresor en el modo de carga;
al menos un condensador en comunicación
fluida con la turbina para recibir y
condensar un fluido de trabajo (WF)
procedente de la turbina;
15 al menos un evaporador en comunicación
fluida con el al menos un compresor para
recibir y evaporar WF procedente del al
menos un compresor, el al menos un
evaporador es un elemento igual o diferente
20 que el al menos un condensador;
el modo de carga que define una primera
trayectoria de flujo del WF y el modo de
carga define una segunda trayectoria de
flujo del WF; y
25 en donde en un modo de descarga el WF fluye
en la primera trayectoria de flujo desde el

al menos un condensador a una o más boquillas dentro de la al menos una turbina, las boquillas se configuran para inducir la rotación de la turbina tras la
5 descarga de fluido de esta, para mezclar de esta manera el WF con el HTL para formar una mezcla de HTL/WF en las una o más boquillas, en las que el WF experimenta una expansión cuasi-isotérmica, provocando la
10 aceleración de la mezcla de HTL/WF y la descarga de la mezcla a través de la una o más boquillas mientras se reduce la temperatura del HTL, la mezcla de HTL/WF descargada de la una o más boquillas se
15 recibe en al menos una primera zona de separación configurada para separar el WF del HTL, el HTL se recicla de nuevo al al menos un depósito caliente o a la una o más boquillas y el WF separado que fluye y se
20 recibe en el condensador para experimentar condensación en este, el WF condensado descargado desde el al menos un condensador fluye de regreso a la turbina.

3. Un sistema para almacenar y recuperar
25 energía en modos operativos respectivos de carga y descarga, que comprende:

al menos un receptáculo de líquido de transferencia de calor (HTL) caliente que contiene HTL caliente;

al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico configurados para comprimir el HTL del compresor, que es el mismo o diferente del HTL caliente del receptáculo caliente;

en donde el al menos un depósito de HTL caliente es selectivamente (i) conectable fluídicamente a la al menos una turbina bifásica en modo operativo de descarga o (ii) acoplable térmicamente al al menos un compresor bifásico en modo operativo de carga para (1) alimentar HTL caliente a la turbina respectiva en el modo de descarga o para (2) intercambio de calor entre el HTL del compresor y el HTL del depósito caliente en el modo de carga;

al menos un condensador en comunicación fluida con la turbina para recibir y condensar un fluido de trabajo (WF) procedente de la turbina;

al menos un evaporador en comunicación fluida con el al menos un compresor para recibir y evaporar WF procedente del al

menos un compresor, el al menos un evaporador es un elemento igual o diferente que el al menos un condensador;

el modo de carga que define una primera trayectoria de flujo del WF y el modo de carga define una segunda trayectoria de flujo del WF; y

en donde en un modo de descarga el WF fluye en la primera trayectoria de flujo desde el al menos un condensador a una o más boquillas dentro de la al menos una turbina, las boquillas se configuran para inducir la rotación de la turbina tras la descarga de fluido de esta, para mezclar de esta manera el WF con el HTL para formar una mezcla de HTL/WF en las una o más boquillas, en las que el WF experimenta una expansión cuasi-isotérmica, provocando la aceleración de la mezcla de HTL/WF y la descarga de la mezcla a través de la una o más boquillas mientras se reduce la temperatura del HTL, la mezcla de HTL/WF descargada de la una o más boquillas se recibe en al menos una primera zona de separación configurada para separar el WF del HTL, el HTL se recicla de nuevo al al

- 5 menos un depósito caliente o a la una o más
boquillas y el WF separado que fluye y se
recibe en el condensador para experimentar
condensación en este, el WF condensado
descargado desde el al menos un condensador
fluye de regreso a la turbina.
- 10 4. El sistema de una cualquiera de las
modalidades 1-3, que comprende al menos un
primer intercambiador de calor de
contraflujo dispuesto en la primera
trayectoria de flujo entre la al menos una
turbina y el al menos un condensador y
configurado para el intercambio de calor
entre WF que sale de la al menos una
15 turbina y WF que sale del al menos un
condensador.
- 20 5. El sistema de la modalidad 4, en donde el
intercambiador de calor se configura para
reducir la temperatura del WF que fluye desde
la turbina al condensador.
- 25 6. El sistema de una cualquiera de las
modalidades 1-5, que comprende al menos una
disposición de presurización configurada
para presurizar o propulsar el WF después
de condensarse en el al menos un
condensador.

7. El sistema de la modalidad 6, en donde dicha disposición comprende una bomba.
8. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-7, que comprende al menos una primera zona de separación dispuesta en la al menos una turbina para separar entre el WF y el HTL.
9. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos operativos respectivos de carga y descarga, que comprende:
- al menos un receptáculo de líquido de transferencia de calor (HTL) caliente que contiene HTL caliente;
- al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico configurados para comprimir el HTL del compresor, que es el mismo o diferente del HTL caliente del receptáculo caliente;
- en donde el al menos un depósito de HTL caliente es selectivamente (i) conectable fluídicamente a la al menos una turbina bifásica en modo operativo de descarga o (ii) conectable fluídicamente o acoplable térmicamente al al menos un compresor bifásico en modo operativo de carga para (1) alimentar HTL caliente a la turbina

respectiva en el modo de descarga o para (2)
en el modo de carga, ya sea intercambiar
calor entre el HTL del compresor y el HTL
caliente, cuando el HTL del compresor y el
5 HTL caliente son diferentes, o alimentar HTL
caliente al al menos un compresor, cuando el
HTL del compresor y el HTL caliente son los
mismos (cabe señalar que el HTL caliente y el
HTL del compresor pueden ser diferentes, a
10 saber, no se mezclan entre sí, pero pueden
ser del mismo material);
al menos un condensador en comunicación
fluida con la turbina para recibir y
condensar un fluido de trabajo (WF)
15 procedente de la turbina;
al menos un evaporador en comunicación
fluida con el al menos un compresor para
recibir y evaporar WF procedente del al
menos un compresor, el al menos un
20 evaporador es un elemento igual o diferente
que el al menos un condensador;
el modo de carga que define una primera
trayectoria de flujo del WF y el modo de
carga define una segunda trayectoria de
25 flujo del WF; y

5 en donde en el modo de carga, el WF fluye
en la segunda trayectoria de flujo y el al
menos un compresor se configura para formar
una mezcla de HTL/WF del compresor y
comprimir cuasi-isotérmicamente el WF en la
mezcla a lo largo de una trayectoria de
flujo del compresor para calentar de esta
manera el HTL del compresor, el HTL del
compresor intercambia calor con el depósito
10 de HTL caliente para calentar de esta
manera el depósito de HTL caliente y se
cicla de nuevo a un depósito, es el mismo o
diferente del depósito de HTL caliente, o
dentro del menos uno del compresor, el WF
15 comprimido que se descarga desde al menos
un compresor fluye para ser recibido en el
evaporador para someterse a evaporación, el
WF evaporado descargado del al menos un
evaporador es dirigido de nuevo al al menos
20 un compresor.

10. Un sistema para almacenar y recuperar
energía en modos operativos respectivos de
carga y descarga, que comprende:
al menos un receptáculo de líquido de
25 transferencia de calor (HTL) caliente que
contiene HTL caliente;

al menos una turbina bifásica y al menos un
compresor bifásico configurados para
comprimir el HTL del compresor, que es el
mismo o diferente del HTL caliente del
5 receptáculo caliente;
en donde el al menos un depósito de HTL
caliente es selectivamente (i) conectable
fluídicamente a la al menos una turbina
bifásica en modo operativo de descarga o
10 (ii) acoplable térmicamente al al menos un
compresor bifásico en modo operativo de
carga para (1) alimentar HTL caliente a la
turbina respectiva en el modo de descarga o
para (2) intercambio de calor entre el HTL
15 del compresor y el HTL del depósito
caliente en el modo de carga;
al menos un condensador en comunicación
fluida con la turbina para recibir y
condensar un fluido de trabajo (WF)
20 procedente de la turbina;
al menos un evaporador en comunicación
fluida con el al menos un compresor para
recibir y evaporar WF procedente del al
menos un compresor, el al menos un
25 evaporador es un elemento igual o diferente
que el al menos un condensador;

el modo de carga que define una primera trayectoria de flujo del WF y el modo de carga define una segunda trayectoria de flujo del WF; y

5 en donde en el modo de carga, el WF fluye en la segunda trayectoria de flujo y el al menos un compresor se configura para formar una mezcla de HTL/WF del compresor y comprimir cuasi-isotérmicamente el WF en la

10 mezcla a lo largo de una trayectoria de flujo del compresor para calentar de esta manera el HTL del compresor, el HTL del compresor intercambia calor con el depósito de HTL caliente para calentar de esta

15 manera el depósito de HTL caliente y se cicla de nuevo a un depósito, es el mismo o diferente del depósito de HTL caliente, o dentro del compresor, el WF comprimido que se descarga desde al menos un compresor

20 fluye para ser recibido en el evaporador para someterse a evaporación, el WF evaporado descargado del al menos un evaporador se dirige de nuevo al al menos un compresor.

11. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos operativos respectivos de carga y descarga, que comprende:

al menos un receptáculo de líquido de transferencia de calor (HTL) caliente que contiene HTL caliente;

al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico;

en donde el al menos un depósito de HTL caliente es selectivamente (i) conectable fluídicamente a la al menos una turbina bifásica en modo operativo de carga o (ii) conectable fluídicamente al al menos un compresor bifásico en modo operativo de carga para (1) alimentar HTL caliente a la turbina respectiva en el modo de descarga o para (2) alimentar HTL caliente al al menos un compresor;

al menos un condensador en comunicación fluida con la turbina para recibir y condensar un fluido de trabajo (WF) procedente de la turbina;

al menos un evaporador en comunicación fluida con el al menos un compresor para recibir y evaporar WF procedente del al menos un compresor, el al menos un

evaporador es un elemento igual o diferente que el al menos un condensador;

el modo de carga que define una primera trayectoria de flujo del WF y el modo de

5 carga define una segunda trayectoria de flujo del WF; y

en donde en el modo de carga, el WF fluye en la segunda trayectoria de flujo y el al menos un compresor se configura para recibir el WF

10 y HTL caliente para obtener una mezcla de HTL/WF y comprimir cuasi-isotérmicamente el WF en la mezcla a lo largo de una trayectoria de flujo del compresor para calentar de esta manera el HTL caliente, el HTL del compresor

15 intercambia calor con el depósito de HTL caliente para calentar de esta manera el depósito de HTL caliente y se cicla de nuevo al depósito de HTL caliente o al compresor, el WF comprimido que se descarga desde el al

20 menos un compresor fluye para ser recibido en el evaporador para que se someta evaporación, el WF evaporado descargado del al menos un evaporador se dirige de nuevo al al menos un compresor.

25 12. El sistema de una cualquiera de las modalidades 9-11, que comprende al menos un

segundo intercambiador de calor de
contraflujo, dispuesto en la segunda
trayectoria de flujo entre el al menos un
compresor y el al menos un evaporador y
5 configurado para el intercambio de calor
entre WF que sale del al menos un compresor
y WF que sale del al menos un evaporador.

13. El sistema de la modalidad 12, en donde el
intercambiador de calor se configura para
10 aumentar la temperatura del WF que fluye
desde el compresor a la turbina.

14. El sistema de una cualquiera de las
modalidades 9-13, que comprende al menos una
segunda zona de separación dispuesta en la al
15 menos una turbina para separar entre el HTL y
el WF.

15. El sistema de cualquiera de la modalidad 9-
14, que comprende al menos una boquilla de
reducción de presión dispuesta en la
20 segunda trayectoria de flujo entre el al
menos un segundo intercambiador de calor y
el al menos un evaporador para reducir la
presión y la temperatura del WF que fluye
desde el al menos un segundo intercambiador
25 de calor al al menos un evaporador.

16. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-15, en donde el WF es un WF de cambio de fase líquido/vapor (LVPhC), seleccionado para estar (i) en una fase de vapor cuando (1) entra en el al menos un compresor, (2) cuando está en un equilibrio de temperatura después de mezclarse con el HTL en la al menos una turbina, y (3) cuando sale del al menos un evaporador, y (ii) en una fase líquida cuando (4) sale del al menos un condensador y (5) sale del al menos un compresor.
17. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos operativos respectivos de carga y descarga, que comprende:
- al menos un receptáculo de líquido de transferencia de calor (HTL) caliente que contiene HTL caliente;
 - al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico configurados para comprimir el HTL del compresor, que es el mismo o diferente del HTL caliente del receptáculo caliente;
 - en donde el al menos un depósito de HTL caliente es selectivamente (i) conectable fluídicamente a la al menos una turbina

bifásica en modo operativo de descarga o (ii) conectable fluídicamente o acoplable térmicamente al al menos un compresor bifásico en modo operativo de carga para (1) alimentar HTL caliente a la turbina respectiva en el modo de descarga o para (2) en el modo de carga, ya sea intercambiar calor entre el HTL del compresor y el HTL caliente, cuando el HTL del compresor y el HTL caliente son diferentes, o alimentar HTL caliente al al menos un compresor, cuando el HTL del compresor y el HTL caliente son los mismos (cabe señalar que el HTL caliente y el HTL del compresor pueden ser diferentes, a saber, no se mezclan entre sí, pero pueden ser del mismo material);

al menos un condensador en comunicación fluida con la turbina para recibir y condensar un fluido de trabajo (WF) procedente de la turbina;

al menos un evaporador en comunicación fluida con el al menos un compresor para recibir y evaporar WF procedente del al menos un compresor, el al menos un evaporador es un elemento igual o diferente que el al menos un condensador;

el modo de carga que define una primera trayectoria de flujo del WF y el modo de carga define una segunda trayectoria de flujo del WF; y

5 en donde en un modo de descarga el WF fluye en la primera trayectoria de flujo desde el al menos un primer condensador a una o más boquillas dentro de la al menos una turbina, las boquillas se configuran para inducir la

10 rotación de la turbina tras la descarga de fluido de esta, para mezclar de esta manera el WF con el HTL para formar una mezcla de HTL/WF en la una o más boquillas, en las que el WF se somete a una expansión cuasi-

15 isotérmica, lo que provoca la aceleración de la mezcla de HTL/WF y la descarga de la mezcla a través de la una o más boquillas mientras se reduce la temperatura del HTL, se descarga la mezcla de HTL/WF de la una o

20 más boquillas que se reciben en al menos una primera zona de separación configurada para separar el WF del HTL, el HTL se recicla de nuevo al al menos un depósito caliente o a la una o más boquillas y el WF separado que

25 fluye y recibe en el condensador para someterse a condensación en este, el WF

condensado descargado desde el al menos un condensador se dirige de regreso a la turbina; y

5 en donde en el modo de carga, el WF fluye en la segunda trayectoria de flujo y el al menos un compresor se configura para formar una mezcla de HTL/WF del compresor y comprimir cuasi-isotérmicamente el WF en la mezcla a lo largo de una trayectoria de
10 flujo del compresor para calentar de esta manera el HTL del compresor, el HTL del compresor se cicla de nuevo a un depósito, es el mismo o diferente del depósito de HTL caliente, o al al menos un compresor y el
15 WF comprimido que se descarga desde el al menos un compresor fluye para ser recibido en el evaporador para someterse a evaporación, el WF evaporado descargado desde el al menos un evaporador regresando
20 al al menos un compresor.

18. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos operativos respectivos de carga y descarga, que comprende:
al menos un receptáculo de líquido de
25 transferencia de calor (HTL) caliente que contiene HTL caliente;

al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico configurados para comprimir el HTL del compresor, que es el mismo o diferente del HTL caliente del receptáculo caliente;

5 en donde el al menos un depósito de HTL caliente es selectivamente (i) conectable fluídicamente a la al menos una turbina bifásica en modo operativo de carga o (ii)

10 acoplable térmicamente al al menos un compresor bifásico en modo operativo de carga para (1) alimentar HTL caliente a la turbina respectiva en el modo de descarga o para (2) intercambiar calor entre el HTL del compresor

15 y el HTL caliente en el modo de carga;

al menos un condensador en comunicación fluida con la turbina para recibir y condensar un fluido de trabajo (WF) procedente de la turbina;

20 al menos un evaporador en comunicación fluida con el al menos un compresor para recibir y evaporar WF procedente del al menos un compresor, el al menos un evaporador es un elemento igual o diferente

25 que el al menos un condensador;

el modo de carga que define una primera trayectoria de flujo del WF y el modo de carga define una segunda trayectoria de flujo del WF; y

5 en donde en un modo de descarga el WF fluye en la primera trayectoria de flujo desde el al menos un primer condensador a una o más boquillas dentro de la al menos una turbina, las boquillas se configuran para inducir la

10 rotación de la turbina tras la descarga de fluido de esta, para mezclar de esta manera el WF con el HTL para formar una mezcla de HTL/WF en la una o más boquillas, en las que el WF se somete a una expansión cuasi-

15 isotérmica, lo que provoca la aceleración de la mezcla de HTL/WF y la descarga de la mezcla a través de la una o más boquillas mientras se reduce la temperatura del HTL, se descarga la mezcla de HTL/WF de la una o

20 más boquillas que se reciben en al menos una primera zona de separación configurada para separar el WF del HTL, el HTL se recicla de nuevo al al menos un depósito caliente o a la una o más boquillas y el WF separado que

25 fluye y recibe en el condensador para someterse a condensación en este, el WF

condensado descargado desde el al menos un condensador se dirige de regreso a la turbina; y

en donde en el modo de carga, el WF fluye en la segunda trayectoria de flujo y el al menos un compresor se configura para formar una mezcla de HTL/WF del compresor y comprimir cuasi-isotérmicamente el WF en la mezcla a lo largo de una trayectoria de flujo del compresor para calentar de esta manera el HTL del compresor, el HTL del compresor se cicla de nuevo a un depósito o al al menos un compresor y el WF comprimido que se descarga desde el al menos un compresor fluye para ser recibido en el evaporador para someterse a evaporación, el WF evaporado descargado desde el al menos un evaporador regresando al al menos un compresor.

19. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos operativos respectivos de carga y descarga, que comprende:

al menos un receptáculo de líquido de transferencia de calor (HTL) caliente que contiene HTL caliente;

al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico;

en donde el al menos un depósito de HTL caliente es selectivamente (i) conectable

5 fluídicamente a la al menos una turbina bifásica en modo operativo de carga o (ii) conectable fluídicamente al al menos un compresor bifásico en modo operativo de carga para (1) alimentar HTL caliente a la

10 turbina respectiva en el modo de descarga o para (2) alimentar HTL caliente al al menos un compresor;

al menos un condensador en comunicación fluida con la turbina para recibir y

15 condensar un fluido de trabajo (WF) procedente de la turbina;

al menos un evaporador en comunicación fluida con el al menos un compresor para recibir y evaporar WF procedente del al

20 menos un compresor, el al menos un evaporador es un elemento igual o diferente que el al menos un condensador;

el modo de carga que define una primera trayectoria de flujo del WF y el modo de

25 carga define una segunda trayectoria de flujo del WF; y

en donde en un modo de descarga el WF fluye en la primera trayectoria de flujo desde el al menos un primer condensador a una o más boquillas dentro de la al menos una turbina, las boquillas se configuran para inducir la rotación de la turbina tras la descarga de fluido de esta, para mezclar de esta manera el WF con el HTL para formar una mezcla de HTL/WF en la una o más boquillas, en las que el WF se somete a una expansión cuasi-isotérmica, lo que provoca la aceleración de la mezcla de HTL/WF y la descarga de la mezcla a través de la una o más boquillas mientras se reduce la temperatura del HTL, se descarga la mezcla de HTL/WF de la una o más boquillas que se reciben en al menos una primera zona de separación configurada para separar el WF del HTL, el HTL se recicla de nuevo al al menos un depósito caliente o a la una o más boquillas y el WF separado que fluye y recibe en el condensador para someterse a condensación en este, el WF condensado descargado desde el al menos un condensador se dirige de regreso a la turbina; y

5 en donde en el modo de carga, el WF fluye en la segunda trayectoria de flujo y el al menos un compresor se configura para recibir HTL caliente y WF para formar una mezcla de HTL/WF y comprimir cuasi-isotérmicamente el WF en la mezcla a lo largo de una trayectoria de flujo del compresor para calentar de esta manera el HTL caliente, el HTL del compresor se cicla de nuevo a un depósito de HTL
10 caliente o al al menos un compresor y el WF comprimido que se descarga desde el al menos un compresor fluye para ser recibido en el evaporador para someterse a evaporación, el WF evaporado descargado desde el al menos un
15 evaporador regresando al al menos un compresor.

20. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos respectivos de carga y de descarga, que comprende:
20 al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico;
al menos un receptáculo de HTL caliente que contiene HTL caliente y al menos un receptáculo de HTL frío que contiene HTL
25 frío, cada uno selectivamente conectable

fluídicamente a al menos un compresor o la al
menos una turbina;
al menos un intercambiador de calor
intermedio dispuesto en una trayectoria de
5 flujo entre el al menos un compresor y la al
menos una turbina;
en donde en el modo de carga, el al menos
un compresor está hecho para conectarse
fluídicamente al al menos un depósito de
10 HTL caliente para recibir HTL caliente
desde este y comprimir cuasi-
isotérmicamente un fluido de trabajo (WF)
mezclado con el HTL caliente, de tal manera
que el fluido de trabajo comprimido fluye a
15 través del al menos un primer
intercambiador de calor para reducir su
temperatura y después mezclarse con HTL
frío en una o más boquillas de la turbina
que se someterá a expansión isotérmica o
20 cuasi-isotérmica que acelera el HTL y la
mezcla de fluido de trabajo para producir
energía cinética convertible a la energía
eléctrica, el fluido de trabajo descargado
de la turbina se dirige hacia el al menos
25 un primer intercambiador de calor que se va
a calentar durante otro ciclo;

5 en donde en el modo de descarga, el al menos
un compresor se configura para recibir HTL
frío del depósito de HTL frío y comprimir
cuasi-isotérmicamente el fluido de trabajo
mezclado en el HTL frío, de tal manera que
el fluido de trabajo comprimido fluye a
través del al menos un primer intercambiador
de calor para aumentar su temperatura y
después mezclarse con HTL caliente en la una
10 o más boquillas de la turbina para someterse
a una expansión isotérmica o cuasi-
isotérmica que acelera la mezcla de HTL/WF
para producir energía cinética convertible
en energía eléctrica, el fluido de trabajo
15 descargado del al menos una turbina se
dirige hacia el al menos un primer
intercambiador de calor para ser enfriado
durante otro ciclo.

21. Un sistema para almacenar y recuperar
20 energía en modos respectivos de carga y de
descarga, que comprende:

al menos una turbina bifásica y al menos un
compresor bifásico configurados para
comprimir el HTL del compresor;

25 al menos un depósito de HTL caliente que
contiene HTL caliente y al menos un depósito

de HTL frío que contiene HTL frío, cada uno selectivamente conectable al al menos un compresor o la al menos una turbina y selectivamente acoplable térmicamente al al menos un compresor o la al menos una turbina; al menos un intercambiador de calor intermedio dispuesto en una trayectoria de flujo entre el al menos un compresor y la al menos una turbina;

en donde en el modo de carga, el al menos un compresor se configura para mezclar un fluido de trabajo (WF) con el HTL del compresor para formar una mezcla de HTL/WF del compresor y comprimir cuasi-isotérmicamente la mezcla de HTL/WF del compresor para calentar de esta manera el HTL del compresor, el compresor está hecho para acoplarse térmicamente al al menos un depósito de HTL caliente para intercambiar calor entre el HTL del compresor y el depósito de HTL caliente, el WF comprimido fluye a través del al menos un primer intercambiador de calor para reducir su temperatura y después mezclarse con HTL frío en una o más boquillas de la turbina para experimentar una expansión isotérmica o

cuasi-isotérmica que acelere el HTL y la
mezcla de fluido de trabajo para producir
energía cinética convertible en energía
eléctrica, el fluido de trabajo descargado
5 de la turbina se dirige hacia al menos un
primer intercambiador de calor que se va a
calentar durante otro ciclo;
en donde en el modo de descarga, el al menos
un compresor se configura para mezclar el WF
10 con el HTL del compresor para formar una
mezcla de HTL/WF del compresor y comprimir
cuasi-isotérmicamente la mezcla de HTL/WF del
compresor para de esta manera calentar el HTL
del compresor, el compresor está hecho para
15 acoplarse térmicamente al al menos un
depósito de HTL frío para intercambiar calor
entre el HTL del compresor y el depósito de
HTL frío, el fluido de trabajo comprimido
fluye a través del al menos un primer
20 intercambiador de calor para aumentar su
temperatura y después mezclarse con HTL
caliente en una o más boquillas de la turbina
para experimentar expansión isotérmica o
cuasi-isotérmica que acelera la mezcla de
25 HTL/WF para producir energía cinética
convertible en energía eléctrica, el fluido

de trabajo descargado de la al menos una turbina se dirige hacia el al menos un primer intercambiador de calor para ser enfriado por otro ciclo.

- 5 22. Un sistema para almacenar y recuperar energía en modos respectivos de carga y de descarga, que comprende:
- al menos una turbina bifásica y al menos un compresor bifásico;
- 10 al menos un receptáculo de HTL caliente que contiene HTL caliente y al menos un receptáculo de HTL frío que contiene HTL frío, cada uno de ellos selectivamente conectable con el al menos un
- 15 compresor/condensador o a la al menos una turbina;
- al menos un intercambiador intermedio se dispone en una trayectoria de flujo entre el al menos un compresor y la al menos
- 20 una turbina;
- en donde en el modo de carga, el al menos un compresor/condensador está hecho para conectarse fluídicamente al al menos un depósito de HTL caliente para recibir HTL
- 25 caliente desde este y comprimir y condensar cuasi-isotérmicamente un fluido de trabajo

en un fluido de trabajo de cambio de fase líquido/vapor (LVPhC) mezclado con el HTL caliente, de tal manera que el LVPhC condensado fluye a través del al menos un primer intercambiador de calor para reducir su temperatura y después mezclarse con HTL frío en una o más boquillas de la turbina para vaporizar y someterse a una expansión isotérmica o cuasi-isotérmica que acelera la mezcla de HTL y LVPhC vaporizada para producir energía cinética convertible en energía eléctrica, el LVPhC vaporizado descargado de la turbina es dirigido hacia el al menos primer intercambiador de calor que se va a calentar durante otro ciclo; en donde en el modo de descarga, el al menos un compresor se configura para recibir HTL frío del depósito de HTL frío y condensar y comprimir cuasi-isotérmicamente LVPhC mezclado en el HTL frío, de tal manera que el LVPhC condensado fluye a través del al menos un primer intercambiador de calor para aumentar su temperatura y después mezclarse con HTL caliente en la una o más boquillas de la turbina para vaporizar y someterse a

expansión isotérmica o cuasi-isotérmica que
acelera la mezcla de HTL y LVPhC para
producir energía cinética convertible en
energía eléctrica, el LVPhC descargado
5 desde la al menos una turbina se dirige
hacia el al menos un primer intercambiador
de calor que se va a enfriar durante otro
ciclo.

23. Un sistema para almacenar y recuperar
10 energía en modos respectivos de carga y de
descarga, que comprende:

al menos una turbina bifásica y al menos un
compresor bifásico configurados para
comprimir el HTL del compresor;

15 al menos un depósito de HTL caliente que
contiene HTL caliente y al menos un depósito
de HTL frío que contiene HTL frío, cada uno
selectivamente conectable al al menos un
compresor o la al menos una turbina y
20 selectivamente acoplable térmicamente al al
menos un compresor o la al menos una turbina;
al menos un intercambiador intermedio se
dispone en una trayectoria de flujo entre el
al menos un compresor y la al menos
25 una turbina;

en donde en el modo de carga, el al menos un compresor/condensador está hecho para acoplarse térmicamente al al menos un depósito de HTL caliente para intercambiar calor con el depósito de HTL caliente, el al menos un compresor/condensador se configura para mezclar un fluido de trabajo (WF) de cambio de fase líquido/vapor (LVPhC) con el HTL del compresor para formar una mezcla de HTL/WF del compresor y comprimir y condensar cuasi-isotérmicamente la mezcla de HTL/WF del compresor para de esta manera calentar el HTL del compresor, el LVPhC condensado fluye a través del al menos un primer intercambiador de calor para reducir su temperatura y después mezclarse con HTL frío en una o más boquillas de la turbina para vaporizar y someterse a una expansión isotérmica o cuasi-isotérmica que acelera la mezcla de HTL y LVPhC vaporizado para producir energía cinética convertible en energía eléctrica, el LVPhC vaporizado descargado de la turbina es dirigido hacia el al menos primer intercambiador de calor que se va a calentar durante otro ciclo;

en donde en el modo de descarga, el al menos un compresor/condensador está hecho para acoplarse térmicamente al al menos un depósito de HTL frío para intercambiar calor con el depósito de HTL frío, el al menos un compresor/condensador se configura para mezclar el WF con el HTL del compresor para formar una mezcla de HTL/WF del compresor y comprimir y condensar cuasi-isotérmicamente el HTL/WF del compresor, el LVPhC condensado fluye a través del al menos un primer intercambiador de calor para aumentar su temperatura y después mezclarse con HTL caliente en una o más boquillas de la turbina para vaporizar y someterse a una expansión isotérmica o cuasi-isotérmica que acelera la mezcla de HTL y LVPhC para producir energía cinética convertible en energía eléctrica, el LVPhC descargado de la al menos una turbina es dirigido hacia el al menos un primer intercambiador de calor para ser enfriado por otro ciclo.

24. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-23, en donde el al menos un

evaporador y el al menos un condensador son los mismos elementos.

25. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-24, que comprende al menos un primer intercambiador de calor de contraflujo dispuesto en la primera trayectoria de flujo entre la al menos una turbina y el al menos un condensador y configurado para el intercambio de calor entre WF que sale de la al menos una turbina y WF que sale del al menos un condensador.

26. El sistema de la modalidad 25, en donde el intercambiador de calor se configura para reducir la temperatura del WF que fluye desde la turbina al condensador.

27. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-26, que comprende al menos un segundo intercambiador de calor de contraflujo, dispuesto en la segunda trayectoria de flujo entre el al menos un compresor y el al menos un evaporador y configurado para el intercambio de calor entre WF que sale del al menos un compresor y WF que sale del al menos un evaporador.

28. El sistema de la modalidad 27, en donde el intercambiador de calor se configura para aumentar la temperatura del WF que fluye desde el compresor a la turbina.
- 5 29. El sistema de la modalidad 27 o 28, que comprende tanto dicho al menos un primer intercambiador de calor como dicho al menos un segundo intercambiador de calor, en donde el al menos un primer intercambiador de calor de contraflujo y el al menos un
- 10 segundo intercambiador de calor de contraflujo son los mismos uno o más elementos selectivamente conectables a la al menos una turbina o al menos un
- 15 compresor, en modo de carga o modo de carga respectivo.
30. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-29, que comprende al menos una disposición de presurización
- 20 configurada para presurizar o propulsar el WF después de condensarse en el al menos un condensador.
31. El sistema de la modalidad 30, en donde dicha disposición comprende una bomba.
- 25 32. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-31, que comprende al menos una

primera zona de separación dispuesta en la al
menos una turbina para separar entre el WF y
el HTL.

5 33. El sistema de una cualquiera de las
modalidades 1-32, que comprende al menos una
segunda zona de separación dispuesta en el al
menos un compresor para separar entre el WF y
el HTL.

10 34. El sistema de una cualquiera de las
modalidades 1-33, que comprende al menos una
boquilla de reducción de presión dispuesta
en la segunda trayectoria de flujo entre el
al menos un segundo intercambiador de calor
y el al menos un evaporador para reducir la
15 presión y la temperatura del WF que fluye
desde el al menos un segundo intercambiador
de calor al al menos un evaporador.

20 35. El sistema de una cualquiera de las
modalidades 1-34, en donde el WF es un WF de
cambio de fase líquido/vapor (LVPhC),
seleccionado para estar (i) en una fase de
vapor cuando (1) entra en el al menos un
compresor, (2) cuando está en un equilibrio
de temperatura después de mezclarse con el
25 HTL en la al menos una turbina, y (3) cuando
sale del al menos un evaporador, y (ii) en

una fase líquida cuando (4) sale del al menos un condensador y (5) sale del al menos un compresor.

5 36. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-35, en donde uno o ambos del al menos un compresor y la al menos una turbina están térmicamente aislados.

10 37. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-36, que comprende una o más válvulas selectivas para permitir las conexiones selectivas del al menos un depósito de HTL caliente al al menos un compresor y la al menos una turbina.

15 38. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-37, en donde el HTL se selecciona de una lista que consiste en: líquidos anticongelantes, agua, agua salada, aceite térmico, sal fundida, etilenglicol, y el WF en una fase líquida.

20 39. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-38, en donde el WF se selecciona de una lista que consiste en: aire, nitrógeno, hidrógeno, CO_2 , amoníaco, propano, materiales de cambio de fase ORC, 25 pentano, materiales de cambio de fase de refrigeración.

40. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-39, que comprende al menos una fuente térmica externa para permitir el calentamiento controlable del HTL caliente.
- 5 41. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-40, en donde el al menos un condensador y el al menos un evaporador se configuran para intercambiar calor con su entorno por la condensación y la
- 10 evaporación, respectivamente.
42. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-41, en donde el al menos un evaporador se configura para calentar por al menos una fuente de calor externa en el modo
- 15 operativo de carga.
43. El sistema de la modalidad 42, que comprende un recinto térmicamente aislado que comprende el al menos un condensador o el al menos un evaporador, se configura para la entrada de
- 20 calor desde la fuente de calor externa y para la descarga controlada del exceso de calor.
44. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-43, en donde el al menos un primer y el al menos un segundo
- 25 intercambiadores de calor de contraflujo son recuperadores.

45. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-44, en donde el al menos un intercambiador de calor intermedio es un recuperador.
- 5 46. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-45, en donde una presión de compresor de entrada del WF y la presión del WF en el evaporador son menores que la presión crítica a una temperatura menor que
- 10 la temperatura circundante, permitiendo de esta manera que la evaporación del WF y el calor fluya desde los vapores circundantes a los WF.
- 15 47. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-46, en donde el al menos un primer intercambiador de calor comprende al menos un primer péndulo térmico.
- 20 48. El sistema de la modalidad 47, en donde cada uno del al menos un primer intercambiador de calor comprende una primera sección de intercambiador de calor, una segunda sección de intercambiador de calor y una primera sección de péndulo térmico; en donde la trayectoria de flujo del WF entre la primera
- 25 y la segunda secciones del intercambiador de calor es a través del péndulo térmico.

49. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-48, en donde el segundo intercambiador de calor comprende un segundo péndulo térmico.
- 5 50. El sistema de la modalidad 49, en donde cada uno de los al menos un segundo intercambiador de calor comprende una primera sección de intercambiador de calor, una segunda sección de intercambiador de calor y una segunda
- 10 sección de péndulo térmico; en donde la trayectoria de flujo del WF entre la primera y la segunda secciones del intercambiador de calor es a través del segundo péndulo térmico.
- 15 51. El sistema de la modalidad una cualquiera de las modalidades 49 y 50, en donde el segundo péndulo térmico es el mismo que el primer péndulo térmico.
- 20 52. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-51, en donde el al menos un intercambiador de calor intermedio comprende al menos un péndulo térmico intermedio.
- 25 53. El sistema de la modalidad 52, en donde cada uno de los al menos un intercambiador de calor intermedio comprende una primera

sección de intercambiador de calor, una
segunda sección de intercambiador de calor y
una sección de péndulo térmico intermedio; en
donde la trayectoria de flujo del WF entre la
5 primera y la segunda secciones del
intercambiador de calor es a través del
péndulo térmico.

54. El sistema de una cualquiera de las
modalidades 47-53, en donde
10 el péndulo térmico tiene un valor de
capacidad de calor mayor que la capacidad de
calor del WF en su fase líquida y se
configura para intercambiar calor con el WF
que pasa a través de este para compensar la
15 ineficiencia de intercambio de calor entre
la fase líquida del WF y la fase gaseosa del
WF de tal manera que (1) en el modo
operativo de carga el péndulo térmico se
calienta mientras enfría el líquido antes de
20 que entre en la turbina y (2) en el modo
operativo de descarga el péndulo térmico se
enfría mientras calienta el líquido antes de
que entre en la turbina.

55. El sistema de una cualquiera de las
25 modalidades 1-54, en donde la primera
trayectoria de flujo y la segunda trayectoria

de flujo son trayectorias de flujo de bucle cerrado.

56. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-55, en donde la al menos una turbina se configura para aumentar la presión del HTL para obtener HTL de alta presión e introducir el HTL de alta presión en dichas una o más boquillas que se van a mezclar con WF a aproximadamente la misma presión para formar una mezcla de HTL/WF con posterior expansión cuasi-isotérmica del WF dentro de la una o más boquillas acelerando la mezcla de HTL/WF hacia salidas de la una o más boquillas.

57. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-56, en donde el al menos un compresor comprende una bomba de HTL para aumentar la presión del HTL, la bomba de HTL se acopla fluídicamente a una boquilla de compresor configurada para recibir HTL presurizado de la bomba de HTL y para mezclarla con WF para obtener la mezcla de HTL/WF dentro de la boquilla que se descarga de la boquilla a una presión mayor que la presión del WF que se introduce en el compresor.

58. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-57, en donde la al menos una bomba de WF está comprendida dentro del al menos un condensador.
- 5 59. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-58, en donde el evaporador se mantiene por encima de la temperatura ambiente.
- 10 60. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-59, en donde dicho HTL del compresor es diferente al HTL caliente y fluye en un bucle cerrado en el compresor e intercambia térmicamente calor con el depósito de HTL caliente en el modo de
- 15 carga.
61. El sistema de una cualquiera de las modalidades 1-60, en donde dicho HTL del compresor es el mismo que el HTL caliente y el depósito de HTL del compresor es el mismo
- 20 que el depósito de HTL caliente, y en el modo de carga el depósito de HTL caliente se conecta fluídicamente al al menos un compresor bifásico para alimentar el HTL caliente al al menos un compresor.
- 25 62. Un sistema para convertir energía eléctrica en calor y para recuperar el calor

almacenado en energía eléctrica, que comprende un sistema de acuerdo con una cualquiera de las modalidades 1-61,
5 al menos un generador eléctrico acoplado rotacionalmente a la al menos una turbina para la generación de electricidad en el modo operativo de descarga, y al menos un motor eléctrico acoplado
10 rotacionalmente con el al menos un compresor para hacer funcionar el compresor para cargar térmicamente el al menos un receptáculo caliente.

15 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Para comprender mejor la materia que se describe en la presente y para ejemplificar cómo puede llevarse a cabo en la práctica, ahora se describirán
20 modalidades, solo a modo de ejemplo no limitante, con referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

La **Figura 1** es una ilustración esquemática de una configuración de la técnica anterior de un sistema de almacenamiento de energía térmica.

25 La **Figura 2** es una ilustración esquemática que ilustra la boquilla bifásica que mezcla gas comprimido o

vapores y HTL, soportando expansión cuasi-isotérmica, acelerando el HTL, y generando empuje que se convierte en electricidad o trabajo mecánico en una turbina, tanto para configuraciones de turbina de reacción como de impacto.

5 La **Figura 3** es una ilustración esquemática de un compresor/condensador que usa HTL en un bucle cerrado para comprimir y opcionalmente condensar fluido de trabajo.

La **Figura 4** es una ilustración esquemática de una boquilla usada en el compresor/condensador basado en HTL.

10 Las **Figuras 5A-5B** son ilustraciones esquemáticas de configuraciones del sistema de una modalidad no limitante del sistema que comprende un almacenamiento HTL a alta temperatura y un almacenamiento HTL bajo. La **Figura 5A** ejemplifica el modo de carga y la **Figura 5B**
15 ejemplifica el modo de descarga.

La **Figura 6** es una ilustración esquemática de válvulas de bola divididas giratorias para permitir el intercambio de líquidos entre secciones de alta presión y baja presión sin desperdiciar el trabajo que se puede usar
20 en el sistema.

Las **Figuras 7A-7B** son diagramas P-V y T-S del sistema para cada modo, en donde la **Figura 7A** muestra los diagramas del modo de carga y la **Figura 7B** muestra los diagramas del modo de carga en una modalidad donde el WF
25 es gas.

La **Figura 8** es un diagrama P-V del ciclo orgánico isotérmico del sistema usando fluido de trabajo de cambio de fase líquido/vapor.

La **Figura 9** muestra un diagrama T-S para el ciclo termodinámico cuando se usa el pentano bifásico como fluido de trabajo y Etilenglicol como HTL.

Las **Figuras 10A-1B** son ilustraciones esquemáticas de modos de sistema de una modalidad no limitante del sistema que comprende un almacenamiento de HTL a alta temperatura y un almacenamiento de HTL bajo, usando un fluido de trabajo de cambio de fase líquido/vapor. La **Figura 10A** ejemplifica el modo de carga y la **Figura 10B** ejemplifica el modo de carga.

La **Figura 11** muestra los diagramas T-S de modos de carga y descarga para el ciclo termodinámico de cambio de fase isotérmica a niveles de presión fijos.

La **Figura 12** muestra diagramas T-S de carga y descarga para el ciclo termodinámico de cambio de fase isotérmica a niveles de presión variables.

Las **Figura 13A-13B** son ilustraciones esquemáticas de una modalidad no limitante del sistema que comprende depósitos de HTL bajos y altos, dos recuperadores y un péndulo térmico. La **Figura 13A** ejemplifica el modo de carga y la **Figura 13B** ejemplifica el modo de descarga.

Las **Figuras 14A-14B** son ilustraciones esquemáticas de una modalidad no limitante del sistema que comprende solamente un depósito de HTL de alta temperatura, un único recuperador y un compresor y evaporador, que pueden ser el mismo elemento. La **Figura 14A** ejemplifica el modo de descargas que comprende el condensador y la **Figura 14B** ejemplifica el modo de carga que comprende el evaporador.

En las **Figuras 15A-15B** se muestra el cálculo del balance de calor y masa de eficiencia para el caso de temperatura de 140 °C. La **Figura 15A** ejemplifica el modo de descarga y la **Figura 15B** ejemplifica el modo de carga.

La **Figura 16** muestra el diagrama Pentano T-S ejemplificando la entalpía y entropía relevantes para el cálculo, que incluyen también el caso de 140 °C ejemplificado en las **Figuras 15A-15B**.

Las **Figuras 17A-17B** son diagramas de bloques que ejemplifican modalidades no limitantes del sistema de la presente descripción, en el que el WF intercambia calor con el entorno en el condensador/evaporador.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Las siguientes figuras se proporcionan para ejemplificar modalidades y la modalidad de la invención de la presente descripción.

En la presente, la solución hace uso de expansión isotérmica y compresión en medios burbujeantes en el concepto de Batería Carnot. El líquido en el medio burbujeante aumenta la densidad de potencia térmica por volumen en 1000 veces, reduciendo de esta manera el tamaño y costo del sistema y las burbujas exhiben expansión isotérmica y compresión que aumenta la eficiencia en comparación con el proceso adiabático.

Un componente central en el método y sistema es una boquilla que mezcla gas comprimido o vapores con líquido de transferencia de calor (HTL). El HTL mantiene líquido en la boquilla. Opcionalmente, los vapores son el resultado de la vaporización de un material de cambio de fase que se logra mezclándolo con el HTL en la boquilla. Opcionalmente, la vaporización se produce antes de llegar a la boquilla. El vapor o gas mezclado con el HTL forma burbujas que se expanden en la boquilla manteniendo casi la misma temperatura que el HTL, debido a la gran capacidad calorífica del HTL y la excelente tasa de transferencia de calor entre las burbujas de vapor y el HTL. La densidad de energía térmica está definida por el

HTL y es órdenes de magnitud superior a la capacidad calorífica de los vapores por volumen. Esto permite tuberías estrechas y sistemas pequeños con alta potencia de salida. La expansión acelera la mezcla en la boquilla.

5 Tanto el HTL como los vapores se enfrían junto con la expansión. Esta reducción de temperatura es menor que unos pocos grados y soporta una expansión cuasi-isotérmica del gas o vapores. Opcionalmente, la velocidad de la mezcla se vuelve supersónica. En la boquilla, la presión inicial y

10 parte de la energía térmica del HTL se convierten en energía cinética bajo condiciones cuasi-isotérmicas. La energía cinética se usa para girar una turbina, generando electricidad, trabajo mecánico, u otra forma de trabajo. Un ejemplo de tal boquilla se describe en WO 2022/049573,

15 que se incorpora en la presente como referencia en su totalidad. Por ejemplo, la sal fundida o el aceite térmico es el HTL que fluye en la boquilla. Aire comprimido, nitrógeno, amoníaco, u otro gas se inyecta en la boquilla, se mezcla con el HTL, se expande cuasi-isotérmicamente,

20 acelera el HTL, y genera empuje que es convertido en electricidad por una turbina. La energía generada por la turbina puede ser usada parcialmente para accionar el compresor (a través de un eje mecánico o conexión eléctrica) que comprime el gas isotérmicamente a

25 temperaturas frías. El HTL en la turbina se enfría después de algunos ciclos y necesita ser reemplazado por HTL

caliente para la conversión continua de calor a trabajo. La **Figura 2** ilustra la boquilla bifásica que mezcla gas o vapores comprimidos y HTL, soportando expansión cuasi-isotérmica, acelerando el HTL, y generando empuje que se
5 convierte en electricidad o trabajo mecánico en una turbina, tanto para configuraciones de reacción como de impacto.

Para el flujo bifásico, una turbina de reacción tiene una ventaja sobre una turbina de impulso debido a
10 la eliminación de la cavitación que puede dañar la turbina de impulso. También, la presión estática máxima en los bordes de la turbina de reacción es ideal para la inyección de la fase gaseosa con pérdidas mínimas de cabeza. Por último, la velocidad distinta de cero del
15 chorro de salida en una turbina de reacción se utiliza para separar la mezcla de gas/líquido al impactar el chorro sobre un marco circular, induciendo un flujo de película en las paredes del marco, que rompe las burbujas, definiendo la zona de separación.

20 Otro componente central es el compresor y condensador isotérmico continuo: El término compresor se usa para comprimir gases o vapores que se mantienen como gas o vapores comprimidos. El término condensador describe el mismo dispositivo, pero los vapores comprimidos se
25 licuan.

Opcionalmente, el HTL en el compresor/condensador es agua, líquido orgánico tal como etilenglicol, el mismo material orgánico que los vapores orgánicos en una fase líquida, o cualquier otro líquido que tenga una fase líquida en la temperatura de operación. La temperatura de entrada HTL está entre -200 grados Celsius y 1000 grados Celsius o superior. El HTL de baja temperatura se usa opcionalmente para comprimir o licuar aire, nitrógeno, hidrógeno, CO₂, o cualquier otro gas para cargar el depósito frío. El HTL de alta temperatura se usa opcionalmente para cargar el depósito de alta temperatura. Esto se logra aislando térmicamente el compresor para que todo el trabajo invertido se convierta a la presión y temperatura que se conserva. En tal sistema adiabático, la compresión es cuasi-isotérmica debido a la gran capacidad calorífica del líquido, que mantiene el gas comprimido a bajas temperaturas en comparación con una expansión adiabática convencional sin mezclar el gas con el HTL. También, una diferencia de temperatura moderada de 50 °C, 100 °C, o 200 °C se usa opcionalmente para reservorios térmicos calientes y fríos.

En la **Figura 3** se describe un método y sistema opcionales para condensar y comprimir gases o vapores. El sistema se diseña para aumentar el área de superficie entre el líquido de compresión y el gas o los vapores comprimidos, reduciendo de esta manera el tamaño y los

costos del compresor. Un flujo de circuito cerrado de HTL es accionado por una bomba, a una presión superior a la presión del gas o vapores entrantes. Una boquilla se diseña para reducir la presión por debajo de la presión del gas o vapor entrante. Esto permite que el gas o los vapores sean succionados en el flujo de HTL. El gas o los vapores pueden entrar desde la envoltura periférica o a través de una tubería designada. El gas o los vapores y el HTL se mezclan dentro de la boquilla. En el caso de los vapores, los vapores se licuan opcionalmente debido a la temperatura del HTL y su alta capacidad calorífica en comparación con los vapores por volumen. Después del mezclado, la forma de la boquilla se diseña para aumentar la presión en la salida de la boquilla por encima de la presión. Opcionalmente, en el caso de los vapores, la parte del material de cambio de fase se deja en la fase de vapores y se comprime como gas. Opcionalmente, la mayoría de los vapores se licuaron después de que la presión aumentó por encima de la presión crítica. Opcionalmente, la mezcla de gas/HTL o vapor/HTL reduce la velocidad del sonido por debajo de la velocidad de flujo de la mezcla, dando lugar a un flujo supersónico en la boquilla. En este caso, se diseña una boquilla De-laval invertida como se describe a continuación. Opcionalmente, la compresión es isotérmica, o cuasi-isotérmica, lo que significa que el HTL y el gas o vapores mantienen una temperatura similar

con menos de 10 % o 20 % de diferencia cuando se mide en Kelvin junto con la compresión. Opcionalmente, después de la boquilla, la presión aumenta, el flujo se ralentiza y la mezcla se separa por gravedad, o por acción centrífuga, o cualquier otro método de separación. Se recolecta el gas, los vapores y la fase líquida del materia de cambio de fase (en la parte superior en caso de que su densidad sea menor que la del HTL), mientras que el HTL llega a la bomba y continúa circulando. El HTL se calienta junto con compresión. Opcionalmente, el HTL caliente se reemplaza por un HTL enfriado para la operación continua del compresor (no se muestra en la figura). Opcionalmente, enfriar el HTL sin reemplazarlo, se realiza mediante transferencia de calor al entorno a través de la superficie del flujo. Opcionalmente, el HTL se calienta para el almacenamiento de energía térmica. Opcionalmente, la presión del compresor en la succión está por debajo de la presión ambiental. Por ejemplo, 0,7 bar. Esto permite que el compresor opere entre la presión máxima comprimida y la presión mínima de entrada, 0,7 bar en este ejemplo. En condiciones de estado estable, la temperatura de HTL puede ser lo suficientemente alta para que el HTL se evapore bajo baja presión en la región de baja presión. En este caso, la duración del flujo en la región de baja presión es mucho más corta que la tasa de intercambio de calor. Esto significa que el HTL no tiene tiempo

suficiente para absorber el calor de evaporación del ambiente y se mantiene como un líquido, lo que permite que el HTL y los vapores sean el mismo material. Por ejemplo, comprimir vapores de Pentano con pentano líquido como HTL que fluye en el compresor. En la región de baja presión, la condición soporta la fase de gas pero mientras el flujo en la región baja sea más rápido que la velocidad de transferencia de calor, no hay cambio de fase. En cambio el líquido succiona los vapores de pentano que llegan de la turbina condensándola y comprimiéndola. La ventaja es la eliminación de la separación de fases (burbujas) en la etapa de compresión, lo que acelera el proceso de condensación.

La boquilla del compresor, ejemplificada en la **Figura 4**, puede incluir las siguientes secciones en orden:

1. Sección de entrada convergente para reducir la presión más allá de la presión ambiental, compuesta de HTL solamente (agua como un ejemplo no limitante).
2. Sección de flujo bifásico divergente, donde la presión se mantiene constante mientras el gas o vapor (aire como un ejemplo no limitante) es aspirado hacia el HTL desde el ambiente a través de orificios o huecos en la envoltura de las boquillas. La sección marcada “-” es donde comienza la succión, y

la sección marcada “+” termina la succión. La mezcla reduce la velocidad del sonido por debajo de la velocidad de la mezcla. Al final de la “Sección de flujo bifásico divergente” (marcada con un “+”) el flujo es supersónico. (Ver la referencia para flujo supersónico bifásico en “Thrust Enhancement Through Bubble Injection Into an Expanding-Contracting Nozzle With a Throat Sowmitra Singh”, Tiffany Fourmeau, Jin-Keun Choi, Georges and L. Chahine, DOI: 10.1115/1.4026855)

3. Sección bifásica convergente, donde aumenta la presión de la mezcla y se reduce el número Mach (relación entre las velocidades de flujo y sonido). Al final de esta sección, marcado con “*”, Mach=1. (Ver la referencia para flujo supersónico bifásico en “Thrust Enhancement Through Bubble Injection Into an Expanding-Contracting Nozzle With a Throat Sowmitra Singh”, Tiffany Fourmeau, Jin-Keun Choi, Georges and L. Chahine, DOI: 10.1115/1.4026855)

4. Salida bifásica divergente, donde la presión de la mezcla aumenta y el número Mach

disminuye. Al final de esta sección, la mezcla alcanza su presión máxima (como mezcla ya que el HTL mismo tiene mayor presión cuando se introduce en la boquilla) (Ver
5 referencia para flujo supersónico bifásico en “Thrust Enhancement Through Bubble Injection Into an Expanding-Contracting Nozzle With a Throat Sowmitra Singh”, Tiffany Fourmeau, Jin-Keun Choi, Georges and L. Chahine, DOI:
10 10.1115/1.4026855).

Haciendo referencia nuevamente al sistema, en una configuración del sistema, el sistema de almacenamiento incluye depósitos HTL de alta temperatura y baja temperatura, un compresor cuasi-isotérmico aislado
15 térmicamente, una turbina térmicamente aislada, un fluido de trabajo en forma de gas, un intercambiador de calor para el gas y el HTL. El gas puede ser Nitrógeno, Aire, CO₂, o cualquier otro gas, y el HTL puede ser cualquier líquido que se mantenga como líquido en el rango de
20 temperatura de funcionamiento entre los dos depósitos de HTL. Opcionalmente, se usa un HTL diferente para los depósitos de alta temperatura que los depósitos de baja temperatura. Esto requiere filtros que bloqueen los dos HTL para la mezcla. Opcionalmente, se usa el mismo HTL en
25 los dos depósitos. En el proceso de carga, se usa la entrada de energía eléctrica o la entrada de energía

mecánica para crear una diferencia de temperatura entre los reservorios de alta temperatura, T_h y temperatura fría T_c HTL. Durante el proceso de la carga, la diferencia de temperatura se convierte en electricidad de salida.

Un ejemplo de materiales y temperaturas operacionales del sistema de almacenamiento: Usando gas nitrógeno como fluido de trabajo (WF) y etilenglicol como HTL en el rango de temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Opcionalmente, el etilenglicol mezclado con agua es el HTL.

El proceso de carga se representa en la **Figura 5A**. La energía eléctrica acciona el compresor cuasi-isotérmico aislado térmicamente. El Nitrógeno se comprime de baja presión, P_L a alta presión P_h , y se calienta con HTL a T_h . El Nitrógeno comprimido y la temperatura HTL continúan elevándose junto con la operación del compresor hasta alcanzar el valor máximo, $t_{h_m\acute{a}x}=199\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el caso de Etilenglicol. A lo largo de la operación del compresor, el Nitrógeno comprimido, a cualquier valor T_h entre T_L y $T_{h_m\acute{a}x}$, sale del compresor llegando al intercambiador de calor, donde la temperatura cae a la baja temperatura, T_c . El Nitrógeno frío comprimido llega a la turbina y se expande cuasi-isotérmicamente en la boquilla, acelerando y enfriando el HTL, generando empuje que se convierte en electricidad o trabajo mecánico en la turbina. Esta energía eléctrica o trabajo mecánico soporta la operación del

compresor, reduciendo la potencia requerida desde el exterior. El HTL en la turbina y el gas se enfrían junto con la expansión. El HTL se mantiene en la turbina y se enfría cada ciclo hasta alcanzar la temperatura mínima $T_{l_mín}$. El Nitrógeno enfriado regresa al intercambiador de calor recuperando el calor y elevando su temperatura a T_h . El ciclo continúa a medida que el gas regresa al compresor. Después de algunos ciclos, la diferencia de temperatura alcanza los valores máximos ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $199\text{ }^{\circ}\text{C}$ para etilenglicol). Opcionalmente, los depósitos de HTL calientes y fríos están conectados al compresor y a la turbina, para cargar el depósito. La turbina se conecta opcionalmente con una bomba de circulación al depósito de HTL frío para cambiar HTL. El compresor se mantiene a alta presión. Opcionalmente, el depósito caliente de HTL conectado al compresor también está a alta presión.

Dado que es posible alimentar y extraer la misma cantidad de líquido de un tanque comprimido sin realizar trabajos (sin cambios en el volumen de gas comprimido), es posible mantener el depósito caliente a baja presión mientras se mezcla de HTL con el compresor. Opcionalmente esto se hace insertando y extrayendo la misma cantidad de líquido del compresor simultáneamente. La **Figura 6** muestra un mecanismo opcional para hacer eso. Un conjunto de válvulas de bola que se bloquean para un flujo directo se encuentran en la pared entre los lados de alta presión,

P_h , y de baja presión, P_L . HTL llena los espacios vacíos en las válvulas de bola. Girando las válvulas de bola intercambia líquidos sin una importante inversión de trabajo.

5 El proceso de carga se puede describir en el diagrama P-V T-S representado en la **Figura 7A**. Funciona como un ciclo térmico de Ericsson invertido. El compresor se comprime a altas temperaturas, usando el depósito caliente. El gas es comprimido cuasi-isotérmico debido a
10 la mezcla con el HTL. Posteriormente el gas se enfría en el intercambiador de calor, opcionalmente a presión constante, y llega a la turbina conectada al depósito frío, donde se expande cuasi-isotérmicamente.

Para la descarga, se inicia la conexión de los
15 depósitos para que el depósito caliente intercambie HTL con la turbina y el depósito frío intercambie HTL con el compresor. El modo de descarga se representa en la **Figura 5B**. Para aumentar, el compresor mantiene el Nitrógeno comprimido. Opcionalmente, se usa una cámara separada de
20 Nitrógeno comprimido para aumentar. Una vez abierta la válvula en el compresor o cámara, el Nitrógeno comprimido a alta presión P_h y temperatura fría T_c pasa por el intercambiador de calor, llega a la turbina a alta temperatura T_h , se mezcla con el HTL caliente en la
25 boquilla, se expande cuasi-isotérmicamente, y genera empuje, el cual se convierte en electricidad o trabajo

mecánico en la turbina. Una porción de la electricidad o del trabajo mecánico se transfiere al compresor. El HTL y Nitrógeno se enfrían junto con la expansión en cada ciclo. El Nitrógeno regresa al intercambiador de calor a la temperatura del HTL caliente, T_h , y baja presión, P_L , y sale del intercambiador de calor en T_c . Entonces, el nitrógeno llega al compresor, donde se comprime cuasi-isotérmicamente a la temperatura fría del compresor, T_c . El balance energético es positivo debido a que comprimir gas a bajas temperaturas y expandir el gas a altas temperaturas generan trabajo como en los motores térmicos. El ciclo continúa siempre y cuando la diferencia de temperatura apoye la generación de energía positiva.

El proceso de descarga se puede describir en el diagrama P-V T-S representado en la **Figura 7B**. Funciona como un ciclo térmico de Ericsson. El compresor se comprime a bajas temperaturas, usando el depósito frío. El gas es comprimido cuasi-isotérmico debido a la mezcla con el HTL. El gas se calienta después en el intercambiador de calor, opcionalmente a presión constante, y llega a la turbina conectada al depósito caliente, donde se expande cuasi-isotérmicamente.

El sistema anterior se diseña para almacenar energía eléctrica por energía térmica y convertirla de nuevo en electricidad. Opcionalmente, si se dispone de una fuente de calor caliente o fría, los depósitos calientes o

fríos intercambian calor con la fuente, alcanzando la temperatura deseada sin entrada de energía eléctrica. En tal caso, el 2.° depósito se encuentra a temperatura ambiente, y la cantidad de energía eléctrica que se puede
5 extraer depende de la diferencia de temperatura entre el depósito calentado (o enfriado) y la temperatura ambiente. Opcionalmente, además de la fuente de calor, se usa electricidad para aumentar además la diferencia de temperatura entre las fuentes a convertir en electricidad.
10 Opcionalmente, si el depósito frío está a una temperatura superior a la ambiente, se puede usar aire para enfriar el depósito frío, lo que lleva a que se extraiga más energía eléctrica.

Además, el ejemplo de Nitrógeno puede ser
15 reemplazado por materiales orgánicos como se hace en el ciclo Organic Rankine (ORC). En este caso, la energía eléctrica usada en el compresor condensa los vapores a líquido como en ORC. El líquido se vaporiza en la boquilla de la turbina y se expande cuasi-isotérmicamente en la
20 turbina, donde enfría el HTL. Después, el material ORC llega al intercambiador de calor y regresa al compresor/condensador para un ciclo adicional. A manera de ejemplo, se usan materiales ORC como etilenglicol como HTL y propano como fluido de trabajo. Se puede considerar
25 cualquier otro material ORC que tenga una fase líquida a la

temperatura HTL fría y una fase gaseosa a la temperatura HTL caliente.

Opcionalmente, el depósito caliente se calienta mediante una fuente de calor externa. Opcionalmente, el
5 depósito frío es frío por una fuente externa como flujo de agua o ventilación de aire. Opcionalmente, la ventilación u otra inversión de trabajo externo se utiliza para disminuir la velocidad de enfriamiento del depósito caliente durante la descarga.

10 A bajas temperaturas ($<200\text{ }^{\circ}\text{C}$), una batería de Carnot típica basada en Ericsson tiene una eficiencia de ciclo completo menor que 50 % debido al trabajo mejorado del compresor. La presente invención puede emplear un nuevo ciclo termodinámico basado en una expansión de burbujas
15 isotérmicas del fluido de trabajo de cambio de fase líquido/vapor orgánico (LVPhC) en una boquilla bifásica. Para las baterías de Carnot, un motor tan nuevo tiene una gran ventaja sobre el ciclo de Ericsson operando a bajas temperaturas ya que el cambio de fase limita el aumento de
20 la presión, reduciendo de esta manera la carga del compresor.

El método se describe opcionalmente por las etapas del ciclo termodinámico:

1- $\rightarrow$ 2: El LVPhC licuado se bombea desde el
25 condensador y se presuriza a una presión P_1

similar o cercana a la presión en la cámara de mezclado en la boquilla.

2->3 El LVPhC licuado intercambia calor con los vapores que salen de la turbina, aumentando su temperatura sin cambio de fase (Debido al alto calor latente, el LVPhC licuado permanece líquido). Opcionalmente, parte del LVPhC se vaporiza.

3->4: El líquido comprimido (opcionalmente parcialmente vapor) LVPhC se inyecta en el evaporador, donde se vaporiza. Opcionalmente esta etapa se realiza en la boquilla.

4->5: El vapor comprimido-LVPhC se mezcla con el HTL en la cámara de mezclado en la boquilla, donde fluye HTL. La presión estática y la reducción de temperatura a lo largo del flujo en la boquilla dan como resultado una expansión cuasi-isotérmica, acelerando la mezcla de LVPhC/HTL y generando empuje en la salida de la boquilla, lo cual gira la turbina, generando electricidad, trabajo mecánico, u otra forma de trabajo. Opcionalmente, la velocidad de la mezcla es supersónica en parte de la boquilla.

5->6: Los vapores de vapor de alta temperatura-LVPhC salen de la boquilla, separados del HTL, y fluyen al intercambiador de calor donde

intercambian calor con el líquido-LVPhC saliendo del condensador, sin cambio de fase (el vapor permanece vapor). Opcionalmente, parte de los vapores se condensa.

5 6->1: Los vapores se enfrían hasta la condensación en un condensador y se comprimen como un líquido.

El diagrama P-V para el ciclo termodinámico se muestra en la **Figura 8**.

10 Ejemplos de materiales LVPhC son materiales anticongelantes tales como materiales convencionales ORC: pentano, isobutano, propano, R134a, R245fa, fluorocarbonos y tolueno.

La **Figura 9** y la lista a continuación, representa
15 un ejemplo de un cálculo de volumen controlado para el ciclo termodinámico cuando se usa el pentano bifásico y etilenglicol como HTL.

Considerando 1 Kg de Pentano donde los números en el diagrama T-S son los diferentes estados termodinámicos
20 para $P_0=1$ bar, $P_1=14,5$ bar, $T_1=155$ °C, $T_{HTL_fria}=35$ °C:

6->1: Condensación: 342 KJ/Kg.

1->2: Compresión isentrópica bombeada de LVPhC-líquido a P_1 : 4KJ/Kg.

2->3a: LVPhC-líquido intercambia calor con LVPhC-vapor
25 asumiendo un espacio de 30 grados: 146 KJ/Kg.

3a->3: Calor adicional de HTL para alcanzar el punto de equilibrio líquido-vapor en P_1 : 144 KJ/Kg.

5 3->4: Vaporización de LVPhC-líquido y calentar el vapor a 155 °C: 246 KJ/Kg.

4->5: LVPhC-vapor se expande en la boquilla-trabajo isotérmico: 133 KJ/Kg.

5->6: Enfriamiento de los vapores en intercambio de calor: 146 KJ/Kg.

10 Este cálculo muestra una eficiencia de ciclo de

$$\eta = \frac{133-4}{133+246+144} = 0,24.$$

Al asumir un intercambiador de calor ideal (0 °C de diferencia de temperatura), y un compresor y turbina ideales, la eficiencia alcanza la eficiencia de Carnot, que se duplica en comparación con la eficiencia ORC convencional en condiciones similares.

Observamos que el sobrecalentamiento es opcional para la boquilla bifásica y también supercrítico (fases mixtas vapor/líquido) es opcional debido al flujo de mezcla burbujeante en la boquilla. En esta opción, la línea entre los puntos 3 y 5 de la figura 10 no cruza la línea punteada en forma de campana de cambio de fase.

El uso de tal motor generalmente requiere una fuente de calor para evaporar el fluido de trabajo, la evaporación, y la aceleración de la mezcla en la

boquilla, generando empuje y girando la turbina. A esto le sigue el uso de un condensador para enfriar y licuar los vapores para recalentar y reciclar en la turbina.

Para la batería de Carnot, el sistema incluye un
5 compresor/condensador, opcionalmente
comprimiendo/condensando isotérmicamente los vapores, una
turbina isotérmica de expansión/evaporación, y el
recuperador, un intercambiador de calor de contraflujo
entre ellos.

10 La **Figura 10A** representa un proceso de carga
opcional. El vapor-LVPhC se condensa en el
compresor/condensador que opera en una fuente de
alimentación externa. El calor generado calienta el HTL y
el depósito caliente. Después, el líquido caliente-LVPhC
15 pasa por el recuperador y se enfría, llegando a la
turbina donde cae la presión, resultando en evaporación y
expansión del líquido-LVPhC en la boquilla, girando la
turbina, generando energía que regresa al compresor. El
vapor frío-LVPhC enfría el depósito frío, pasa en el
20 recuperador y regresa al compresor para un ciclo
adicional. De esta manera el trabajo (electricidad)
invertido en el compresor se transforma en depósitos
calientes y fríos.

En el modo de descarga, el HTL de la turbina se
25 conecta al depósito caliente, mientras que el
compresor/condensador se conecta al HTL del depósito frío.

La **Figura 10B** representa un proceso de descarga opcional. El vapor-LVPhC se condensa a la temperatura fría del depósito en la operación del compresor/condensador. El calor generado calienta el HTL y el depósito frío. 5 Entonces el líquido-LVPhC pasa por el recuperador y se calienta, llegando a la turbina donde las caídas de calor y presión resultan en evaporación y expansión del líquido-LVPhC en la boquilla, girando la turbina, generando energía que regresa a la red, una porción de la energía 10 soporta el compresor. El vapor caliente-LVPhC enfría el depósito caliente, pasa en el recuperador y regresa al compresor para un ciclo adicional. De esta manera el trabajo (electricidad) regresó a la red usando los depósitos de frío y calor.

15 Opcionalmente, el compresor/condensador isotérmico es un compresor que comprende una boquilla como se ejemplifica en la **Figura 4**, que como se explicó anteriormente es una boquilla bifásica de Laval en configuración “inversa” de tal manera que aumenta la 20 presión de un gas, comprimiéndolo isotérmicamente mezclándolo con el HTL. Es de señalar que la cifra no está en escala.

HTL, tal como agua, líquidos de bajo punto de congelación, líquido de hidrocarbonato, y/u otro flujo en 25 la boquilla, ingresa a la entrada a una presión más alta que la ambiental, y sale por la salida a una presión más

alta que la ambiental. El gas, como aire, hidrógeno o cualquier otro, es aspirado por el HTL, comprimido y enfriado por el HTL, y emerge en la salida a una presión más alta que la presión ambiente. Aunque, la **Figura 4** muestra un ejemplo de agua como HTL y aire como gas, debe observarse que el HTL puede seleccionarse de cualquier HTL adecuado y el gas puede ser cualquier gas adecuado para ser comprimido. Opcionalmente, la presión y velocidad iniciales del HTL son generadas por una bomba. Opcionalmente, los valores de presión inicial y final del HTL son idénticos dentro de un rango de 10 %. Opcionalmente, la presión inicial y final del HTL es idéntica dentro de un rango de 20 %, o 30 %.

Preferentemente, la temperatura de operación del HTL es lo más baja posible. Opcionalmente, por debajo de 100 °C, 25 °C , 15 °C, o 0 °C. Opcionalmente, para HTL de bajo punto de congelación, la temperatura de operación es menor que -10 °C, -25 °C, -50 °C. Opcionalmente la temperatura de HTL es menor que -195 °C cuando el HTL es nitrógeno líquido o por debajo de 4,2K cuando el HTL es helio líquido.

Opcionalmente, tal compresor se puede usar en cascada para alcanzar una presión más alta, llevando, por lo tanto, el gas comprimido al suministro de gas de un segundo compresor de circuito cerrado, para una segunda etapa de presión. Por ejemplo, comprimir aire de primer

grado a 15 bares, usando agua como HTL y una boquilla supersónica. Este aire comprimido fluye hacia la segunda boquilla supersónica de un segundo compresor de bucle cerrado, que se mantiene a unos 30 bares. En la boquilla, la presión cae por debajo de 15 bares permitiendo que el aire entre en la boquilla. A la salida de la boquilla la presión aumenta a 30 bares, y el aire se comprime mientras se enfría por el agua.

El sistema está compuesto opcionalmente por Pentano como fluido de trabajo o un ciclopentano opcional para temperaturas mayores que 180 °C. El HTL es por ejemplo etilenglicol para trabajar hasta 200 °C o aceite térmico para temperaturas de hasta aproximadamente 400 °C, e incluso sales fundidas para temperaturas más altas. Los fluidos de trabajo opcionales son cualquier líquido que se usa en ORC convencional como pentano, isobutano, propano, R134a, R245fa, fluorocarbonos, y tolueno. Para altas temperaturas, el agua se puede usar como fluido de trabajo como en el ciclo Rankine.

La **Figura 11** muestra un ejemplo de la evolución de temperatura en la carga y la descarga. En este ejemplo, se alcanzan presión baja fija (1 bar) y presión fija alta (14,5) bar en cualquier ciclo independientemente de la temperatura. Las temperaturas del depósito de arranque son, por ejemplo, opcionales 90 °C y 111 °C. En la figura, el ciclo termodinámico se

describe mediante los puntos 5.1-3.1 (compresor/condensador), y 1.1-6.1 (evaporación/expansión de turbina).

Opcionalmente, la presión final alcanzada por la
5 turbina y el compresor se establece por la presión de saturación. Esto requiere presión variable según el perfil de temperatura de esta opción, donde el lado frío se mantiene a una temperatura fija mientras que el depósito caliente cambia sus temperaturas de los
10 depósitos contruidos. La **Figura 12** representa esta opción.

Opcionalmente, se puede considerar cualquier combinación entre la presión fija y la presión variable. Por ejemplo, cargar el sistema a presión variable (**Figura**
15 **12** izquierda) mientras se descargan a presión constante (**Figura 11** a la derecha). Opcionalmente, en caso de que la temperatura del depósito frío exceda la temperatura ambiente, el depósito frío o el compresor/condensador pueden conectarse térmicamente con el ambiente para
20 mantener una temperatura inferior a la que se lograría si el sistema está aislado. Esto aumentará la cantidad de energía extraída.

Además, debido a la inherente mayor capacidad calorífica del fluido de trabajo en una fase líquida en
25 comparación con su fase de vapor, en el proceso de carga, el líquido llega a la turbina más caliente que la

turbina, mientras que en el proceso de descarga el líquido llega a la turbina más fría que la turbina. Esto reduce la eficiencia general de ciclo completo al cribar la diferencia de temperatura entre los depósitos. Dado

5 que la transferencia de calor neta general al líquido en un ciclo completo de carga-descargar es cero, opcionalmente se coloca un cuerpo de capacidad calorífica de alto valor como parte del intercambiador de calor del recuperador, y sirve como un péndulo de calor que entrega

10 la energía térmica faltante. Mientras que en el recuperador, la fase líquida intercambia calor con la fase gaseosa, en el péndulo térmico solo el flujo de fase líquida, intercambiando calor con la masa térmica. La **Figura 13A** muestra un recuperador dividido

15 (intercambiador de calor) y un péndulo térmico en el medio en un modo de carga, donde la temperatura se cambia mínimamente. En el modo de carga, el péndulo térmico se calienta mientras enfría el líquido antes de que llegue a la turbina. La **Figura 13B** muestra el modo de descarga, donde el péndulo térmico se enfría mientras calienta el

20 líquido antes de llegar a la turbina. La energía neta en el péndulo es cero.

En general, la principal ventaja de una batería de Carnot es su posible transformación en una

25 configuración de motor térmico. Es decir, cuando se agota el almacenamiento térmico la configuración de descarga se

convierte en un motor de calor mientras que el depósito caliente es reemplazado por gas de combustión o hidrógeno o cualquier otro proceso de combustión. Esto permite que el dispositivo suministre electricidad todo el año
5 incluso cuando termina el almacenamiento térmico.

En una configuración opcional de batería de Carnot, un depósito puede ser el entorno. La ventaja es la reducción de costos con la eliminación de un depósito. En una configuración opcional del sistema, solo se usa un
10 depósito caliente mientras que el depósito frío es el entorno. En este caso, el fluido de trabajo es opcionalmente, Pentano, Ciclopentano, agua, o cualquier otro fluido de trabajo usado en un motor térmico de vapor/HTL bifásico. Opcionalmente el HTL es etilenglicol,
15 aceite térmico, sal fundida, u otro líquido no evaporante en los rangos de temperatura y presión de operación del sistema. Opcionalmente, en la configuración de descarga se puede usar gas de combustión, hidrógeno, u otros procesos de combustión para calentar el fluido de trabajo y el HTL
20 para generar electricidad.

La **Figura 17A** es un diagrama de bloques que ejemplifica una modalidad no limitante del sistema de la presente descripción, en el que el WF intercambia calor con el entorno en el condensador/evaporador. El sistema
25 **100** comprende un almacenamiento HTL de alta temperatura **102** (a lo largo de toda la aplicación, el término

“almacenamiento de HTL de alta temperatura” es intercambiable con el término “almacenamiento de HTL caliente” o “depósito de HTL caliente”) que se conecta selectivamente a la turbina **104** en el modo de descarga y
5 al compresor **106** en el modo de carga. Cuando el almacenamiento de HTL de alta temperatura **102** está conectado fluidicamente a la turbina **104** o al compresor **106**, intercambia HTL con el componente respectivo. En el modo de carga, el HTL que se entrega al compresor **106**
10 tiene una temperatura que es menor que la temperatura del HTL que se recibe de regreso desde el compresor **106**. En el modo de descarga, el HTL que se entrega a la turbina **104** tiene una temperatura que es mayor que la temperatura del HTL que se recibe de regreso desde la turbina **104**.

15 En cada modo operativo, el WF fluye en una trayectoria de flujo de bucle cerrado diferente.

En el modo de descargas, el WF fluye en una primera trayectoria de flujo, desde la turbina **104**, al intercambiador de calor de contraflujo **108**, al
20 condensador/evaporador **110** que actúa como un condensador, retrocede el intercambiador de calor de contraflujo **108** y retrocede a la turbina **104**. En su trayectoria de flujo, después de eso el WF se condensa y antes de que entre en la boquilla de la turbina **104**, es presurizado por una bomba WF
25 (no se muestra).

En el modo de carga, el WF fluye en una segunda trayectoria de flujo, desde el compresor **106** al intercambiador de calor de contraflujo **108**, al condensador/evaporador **110** que actúa como evaporador, retrocede el intercambiador de calor de contraflujo **108** y de regreso al compresor **106**. Típicamente, entre el flujo del WF desde el intercambiador de calor de contraflujo **108** al evaporador **110**, la presión del WF se reduce, p. ej., mediante una boquilla de reducción de presión dedicada, para reducir la temperatura del WF por debajo de la presión ambiente para permitir que reciba calor del entorno cuando pasa a través del evaporador **110**.

La **Figura 17B** es otro diagrama en bloque que ejemplifica una modalidad no limitante diferente del sistema de la presente descripción, en el que el WF intercambia calor con el entorno en el condensador/evaporador. La **Figura 17B** difiere de la **Figura 17A** en que el compresor **106** comprende su propio HTL del compresor **107** que fluye en un bucle cerrado dentro del compresor **106** y no recibe HTL caliente del almacenamiento de HTL a alta temperatura **102**. El compresor **106** comprende además el depósito de HTL del compresor **109** que almacena el HTL del compresor **107** antes y/o después del proceso de compresión en el compresor. El depósito de HTL del compresor **109** puede tener la forma de una cámara o puede ser una porción de la trayectoria de

flujo HTL del compresor en el compresor que es diferente a la zona de manipulación, en la que se produce la compresión. El HTL del compresor aumenta gradualmente su temperatura en cada ciclo de compresión del WF y el compresor se configura para intercambiar calor con el almacenamiento HTL de alta temperatura para calentarlo. El intercambio de calor puede realizarse diseñando que una parte de la trayectoria de flujo de bucle cerrado del HTL del compresor esté acoplada térmicamente con el almacenamiento HTL a alta temperatura o con una trayectoria de flujo del HTL caliente, sin ningún intercambio de líquidos entre el compresor **106** y el almacenamiento HTL de alta temperatura **102**. Cabe señalar que la modalidad de que el compresor comprende su propio HTL y solo en acoplamiento térmico con el depósito de HTL puede aplicarse a cualquier aspecto de la presente descripción. Por lo tanto, en los aspectos que incluye también depósito de HTL frío, el compresor también puede estar en acoplamiento térmico con el depósito de HTL frío sin intercambiar líquido con el mismo.

Un ejemplo más específico de tal configuración del sistema se representa en las **Figuras 14A-14B**, en las que durante el proceso de descarga (**Figura 14A**), la turbina se conecta al depósito caliente y al condensador a través de un recuperador (el entorno del condensador es el depósito frío). Opcionalmente, el fluido de trabajo (WF)

es ciclopentano. En esta opción, el WF líquido se presuriza (bombea), se calienta en el recuperador, y se inyecta en la turbina donde se calienta aún más, se evapora, y se gaste cuasi-isotérmicamente, enfriando el depósito caliente. La energía generada opera el condensador y suministra la potencia de salida neta. Los vapores continúan hacia el recuperador, se enfrían, y se condensan en el condensador regresando al recuperador. El proceso termina cuando la diferencia de temperatura entre los depósitos es demasiado pequeña. La **Figura 14A** a la derecha muestra el diagrama T-S de tal proceso. En las diferentes etapas termodinámicas 3.0-5.0, 3.1-5.1, 3.2-5.2, 5.3-3.3, se describe la evaporación y expansión a temperaturas elevadas del depósito caliente, ya que es descargado (enfriado) por la turbina.

En el proceso de carga (**Figura 14B**), el compresor/condensador se conecta al depósito caliente y se acciona por energía eléctrica externa. Los vapores de WF se comprimen y condensan, mientras que el calor fluye del WF al depósito caliente, elevando su temperatura. El WF líquido se enfría en el recuperador. La evaporación ultrarrápida u otros medios de reducción de presión se usan para evaporar de manera rápida parte del WF, mientras que el WF se enfría por debajo de la temperatura circundante. El WF continúa evaporándose en el evaporador mientras el calor fluye desde el entorno hasta el WF. En

este ejemplo, el evaporador es el mismo dispositivo que el condensador. La presión de vapor de entrada en el compresor es la misma que la presión en el evaporador. Se controla para permitir la evaporación a una temperatura de saturación inferior a la temperatura circundante. Al reducir la presión se reduce la temperatura de saturación. El WF líquido de alta presión que sale del compresor pasa a través de una boquilla reductora de presión, opcionalmente orificio, que reduce la presión al nivel de la presión de entrada del compresor. El resultado es WF que se evapora mientras se enfría a una temperatura inferior a la del entorno. Esto permite que el calor fluya desde el entorno hacia el WF enfriado soportando una mayor evaporación. El resultado son vapores WF cerca de la temperatura del entorno. El vapor regresa al recuperador calentado y nuevamente comprimido cuasi-isotérmicamente en el compresor/condensador, calentando el depósito caliente. El proceso termina cuando la temperatura es suficientemente alta.

Un ejemplo del sistema: Batería de Carnot (CB) de 250 kW que opcionalmente, opera como turbina de gas pico cuando se agota el almacenamiento.

El CB se evalúa mediante dos parámetros: La eficiencia del motor, y la eficiencia de la bomba de calor, conocida como el coeficiente de rendimiento (CoP). Idealmente, cuando la carga y la descarga están trabajando

entre las mismas temperaturas, estos dos parámetros se cancelan entre sí permitiendo una eficiencia de 100 % de ciclo completo. En la presente solución, el motor y el almacenamiento operan en un rango de temperaturas. A una temperatura baja ($100\text{ }^{\circ}\text{C} < 140\text{ }^{\circ}\text{C}$), el CoP alto compensa la baja eficiencia, mientras que a una temperatura alta ($140\text{ }^{\circ}\text{C} > 180\text{ }^{\circ}\text{C}$), la alta eficiencia del motor compensa el CoP bajo. La Tabla 1 simetriza la eficiencia práctica de la turbina de pentano calculada al ejecutar el balance de calor y masa (Configuración en la **Figura 13A**) a diversas temperaturas.

Tabla 1:

Eficiencia del motor a diversas temperaturas

T ($^{\circ}\text{C}$)	Eficiencia (%)
100	12,5
140	18,75
175	23,1
250	29,9

La **Figura 15A** muestra el balance de calor y masa para el caso de temperatura $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, mostrando una eficiencia de 18,75 %.

La **Figura 16** representa los valores de entalpía y entropía del pentano a diversas temperaturas. El CoP en el proceso de carga se define por la bomba de calor en etapas 5-3 en los rangos de temperatura elevados, donde

el calor es: $Q = Tds$, el trabajo es $W = Q - dH$, y el $CoP = Q/W$.

A manera de ejemplo, consideramos dos estudios de caso:

- 5 • CB como fuente despachable independiente.
En esta configuración, en la carga, la presión en el evaporador se establece en 0,38 Bar (temperatura de saturación a $T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Esto permite la evaporación a
10 temperatura ambiente. La presión de entrada del compresor es 0,38 Bar y la presión de salida está ligeramente por encima de la presión de saturación en la temperatura del depósito (y el HTL en el compresor).
- 15 • CB más una fuente de calor residual adicional a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ calentando el evaporador. El calor residual a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ permite que el Pentano se evapore a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 2,8 Bar de presión. Tal presión inicial reduce el
20 trabajo en 5-3 etapas mientras que el calor latente extraído al depósito se mantiene inalterado. Tal fuente externa de calor residual potencia la eficiencia CoP y CB, opcionalmente por encima de 100 %.

25 En la Tabla 2 se resume el CoP termodinámico extraído para el caso 1 (ambiente) y el caso 2 ($75\text{ }^{\circ}\text{C}$)

para diversas temperaturas de HTL. Prácticamente, debido a que el compresor se encuentra en la sección caliente, las pérdidas térmicas se reciclan. Para un 80 % de eficiencia de la bomba del compresor y un CoP de 4, la eficiencia efectiva es 85 % ($0,8 + 0,2/4 = 0,85$). Los valores prácticos para 80 % de eficiencia de la bomba están marcados en negrita en la Tabla 2. Como es evidente, la fuente de calor residual de 75 °C más que duplica el CoP en comparación con la temperatura ambiente. La eficiencia general de ciclo completo (salida de energía eléctrica/entrada de energía eléctrica) es la multiplicación del CoP y la eficiencia del motor de descarga (Tabla 1).

Tabla 2:

15

CoP a diversas temperaturas

T (°C)	Ambiente	75 °C
100	3,82	11,7
	3,26	9,56
140	2,8	5,3
	2,44	4,44
175	2,18	3,35
	1,95	2,88

En la Tabla 3 se resume la eficiencia del ciclo de retorno.

20

Tabla 3:

Eficiencia de ciclo completo a diversas temperaturas

	175 °C	140 °C	100 °C
Eficiencia de R.T. (Caso 1)	0,58	0,46	0,40
Eficiencia de R.T. (Caso 2)	0,86	0,84	1,2

5

Como es evidente, la fuente de calor residual a 75 °C ofrece un promedio de > 90 % de eficiencia de ciclo completo. En ambos casos, cuando se agota el almacenamiento térmico, el gas de combustión o hidrógeno impulsa el motor.

10 El cálculo del balance de calor y masa para pentano a 250 °C, da como resultado 30 % de eficiencia.

Para completar el cuadro, la **Figura 15B** muestra el balance de calor y masa para la carga de la turbina de 250 kW a 140 °C (configuración del sistema como se

15 muestra en la **Figura 14B**). El balance de calor y masa soportan una eficiencia de ciclo completo de 84 %. En esta configuración del sistema, el evaporador podrá acomodarse dentro de un recinto que reciba en este el calor residual. El recinto puede tener una entrada para

20 recibir el calor residual y una salida para ventilación cuando se introduce la masa del calor residual.

Tomando en cuenta que el calor residual a 75 °C es muy común, ofreciendo 84 % de eficiencia de batería y 30 % de eficiencia como turbina pico, permite almacenar la

sobreproducción de la red basada en renovables, ofreciendo de esta manera una red renovable de carga base, una etapa importante hacia una descarbonización completa. Otra ventaja es el desacoplamiento entre la carga (compresor) y la descarga (turbina). Las fuentes renovables tales como la solar y la eólica pueden cargarse algunas horas al día, mientras que la descarga puede ser casi continua. Esto requiere un compresor grande y una pequeña turbina.